

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy



Zařízení k manipulaci s litcími pánvemi

Equipment for handling ladles

Student: Bc. Rudolf Ruttkay

Vedoucí práce: Ing. Jan Nečas, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Rudolf Ruttkay**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 35 Dopravní stroje a manipulace s materiálem
Téma: **Zařízení k manipulaci s licími pánvemi**
Equipment for Handling Ladles
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení k manipulaci s ocelářskými licími pánvemi, které umožní jejich přesun na dané pozice. Jedná se o zařízení umožňující horizontální přesun licích pánví.

V rámci diplomové práce proveďte:

- Rešerši možných způsobů manipulace;
- Návrh řešení dané situace;
- Potřebné technologické výpočty pro přesun licí pánve včetně návrhu záložního pohonu;
- Pevnostní výpočty;
- Konstrukční řešení manipulačního prostředku.

Seznam doporučené odborné literatury:

Polák, J., Bailotti, K., Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003, ISBN 80-248-0493-X
Cvekl, Z., Dražan, F.: Teoretické základy transportních zařízení. Praha: SNTL Praha, 1976
Dražan, F., Kupka, L.: Transportní zařízení. Praha: SNTL/SVTL Praha 1966.
Polák, J., Pavliska J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava 2001. ISBN 80-248-0043-8.
Pešat, Z.: Manipulace s materiálem v hutích I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1992, ISBN 80-7078-107-6
Prospekty, firemní materiály

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Nečas, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



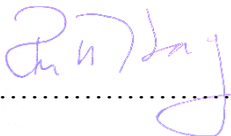
doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016

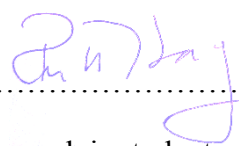

.....
podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít toto dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5.2016.....



.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Rudolf Ruttkay

Adresa trvalého pobytu autora práce:

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

RUTTKAY, R. *Zařízení k manipulaci s licími pánvemi*: diplomová práce. Ostrava; VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2016, 56 s. Vedoucí práce: Ing. Jan Nečas, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá technologickým procesem odlévání oceli v ocelárnách se zaměřením na manipulaci s licími pánvemi a mezipánvemi. Textová část práce se zabývá seznámením se způsoby plynulého odlévání oceli, jejich výhodami, zařízeními pro tuto technologii a manipulací spojenou s tímto procesem. Následná výpočtová část práce se zabývá návrhem otáčecího mechanismu ramene a jeho pohonu. Výpočty zakončuje pevnostní kontrola celkového ramene pomocí metody konečných prvků. Výkresová dokumentace obsahuje celkovou sestavu otočného mezipánvového stojanu, výkres svařence zdvihacího rámu a výrobní výkres pastorku.

Klíčová slova: manipulace s mezipánvemi, plynulé odlévání oceli, otočný stojan.

ABSTRACT OF DIPLOMA THESIS

RUTTKAY, R. *Equipment for handling ladles*: Diploma Thesis. Ostrava; VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transportation, 2016, 56 s. p. Thesis supervisor: Ing. Jan Nečas, Ph.D.

The thesis deals with the technological process in steel casting steel focusing on handling ladles and tundishes. Textual part focuses on learning about ways to continuous steel casting their advantages, facilities for technology and handling charges associated with this process. The subsequent calculation of the work deals with the design of the rotating mechanism arm and his drive. Calculations score overall strength control arm using the finite element method. Drawing documentation contains the complete set mezipánvového swivel stand, lifting frame weldment design and manufacturing drawing of the pinion.

Key words: manipulation of the ladles, continuous casting of steel, swivel stand.

Obsah

Přehled použitých značek.....	8
1. Úvod.....	11
2. Plynulé odlévání oceli	13
2.1 Přednosti plynulého odlévání oceli.....	13
2.2 Charakteristika výroby oceli plynulým odléváním.....	14
2.3 Zařízení k plynulému odlévání oceli	15
2.4 Hlavní části zařízení pro plynulé odlévání a princip jeho činnosti.....	16
2.4.1 Lící pánev	16
2.4.2 Mezipánev	17
2.4.3 Krystalizátor	18
2.4.4 Tažné stolice a rovnací zařízení	19
2.4.5 Dělicí zařízení.....	20
2.5 Automatizace základních činností	20
2.5.1 Udržování vhodné hladiny tekuté oceli v mezipánvi	21
2.5.2 Měření teploty a dalších parametrů oceli v mezipánvi.....	21
3. Manipulační a zvedací zařízení v procesu plynulého odlévání.....	22
3.1 Jeřáby	22
3.2 Transportní traverzy pro přesun a otáčení pánví	23
3.3 Pánvové a mezipánvové vozy.....	24
3.4 Otočný lící pánvový stojan (OLS)	25
3.5 Otočný mezipánvový stojan.....	26
4. Současný stav otočného mezipánvového stojanu	30
4.1 Konstrukce a funkce částí stojanu	30
4.1.1 Nosná ramena	30
4.1.2 Zvedací rámy	30
4.1.3 Velkopřůměrová ložiska stojanu a pohony mechanismu	31

4.2	Nouzový pohon.....	32
4.3	Návrh variant řešení a technická data	33
4.4	Technická data otočného mezipánového stojanu.....	34
5.	Stanovení působících sil a dimenzování mechanismu otáčení	35
5.1	Volba velkorozměrových ložisek otočného stojanu	38
5.2	Návrh a volba pohonu ramen otočného stojanu.....	40
5.2.1	Střední hodnota reakcí působících na ložisko	41
5.2.2	Moment pasivních odporů působících na ložisko	42
5.2.3	Potřebné otáčky pastorku	42
5.2.4	Výkon potřebný k překonání pasivních odporů ložiska	43
5.2.5	Volba pohonu ložiska	44
5.3	Kontrola rozběhu pohonů	44
5.3.1	Moment setrvačných hmot rotujících kolem osy stojanu.....	45
5.3.2	Moment setrvačných hmot rotujících kolem osy motoru.....	46
5.3.3	Doba rozběhu pohonu ložiska	46
6.	Pevnostní kontrola dolního ramene mezipánového stojanu.....	48
7.	Závěr	52
	Seznam použitých zdrojů	55
	Seznam výkresové dokumentace	56

Přehled použitých značek

d_a	Průměr odvalování valivých tělísek ložiska	[m]
g	Tíhové zrychlení	[m·s ⁻²]
i	Převodový poměr	[-]
i_p	Převodový poměr převodovky	[-]
m_{mp}	Hmotnost mezipánve	[kg]
m_{nr}	Hmotnost nosného ramene	[kg]
m_{rc}	Celková hmotnost jednoho ramene	[kg]
m_t	Hmotnost tavby	[kg]
m_{zr}	Hmotnost zdvihacího rámu	[kg]
m_{zz}	Hmotnost zdvihacího zařízení	[kg]
n_1	Otáčky ramene v ustáleném chodu	[s ⁻¹]
n_m	Jmenovité otáčky motoru	[s ⁻¹]
n_p	Potřebné otáčky pastorku	[s ⁻¹]
n_{pr}	Výstupní otáčky z převodovky	[s ⁻¹]
t_r	Doba rozběhu pohonu ložiska	[s]
x_1	Vzdálenost těžiště mezipánve od osy otáčení	[m]
x_2	Vzdálenost těžiště zdvihacího rámu od osy otáčení	[m]
x_3	Vzdálenost těžiště zdvihacího zařízení od osy otáčení	[m]
x_4	Vzdálenost těžiště nosného rámu od osy otáčení	[m]
z_1	Počet zubů pastorku	[-]
z_2	Počet zubů věnce ložiska II	[-]
F_a	Axiální síla	[N]
F_{ae}	Ekvivalentní axiální síla	[N]
J_m	Moment setrvačnosti motoru	[kg·m ²]
J_{mp}	Moment setrvačnosti plné mezipánve vzhledem k ose stojanu	[kg·m ²]
J_{mpI}	Moment setrvačnosti plné mezipánve	[kg·m ²]

J_{nr}	Moment setrvačnosti nosného rámu vzhledem k ose stojanu	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
J_{nrI}	Moment setrvačnosti nosného rámu	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
J_p	Moment setrvačnosti převodovky	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
J_p	Moment setrvačnosti převodovky	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
J_{ps}	Moment setrvačnosti pastorku	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
J_{zr}	Moment setrvačnosti zdvihacího rámu vzhledem k ose stojanu	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
J_{zrI}	Moment setrvačnosti zdvihacího rámu	$[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
M_{ir1}	Moment setrvačných hmot rotujících kolem osy stojanu	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_{ir2}	Moment setrvačných hmot rotujících kolem osy motoru	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_{kl}	Klopný moment působící na ložisko	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_{kle}	Ekvivalentní klopný moment	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_m	Jmenovitý moment motoru	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_p	Výstupní krouticí moment z převodovky	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_p	Výstupní krouticí moment z převodovky	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_{tII}	Moment pasivních odporů ložiska II	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_{zab}	Záběrový moment motoru	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
P_{II}	Výkon potřebný k překonání pasivních odporů	$[\text{W}]$
P_m	Jmenovitý výkon motoru	$[\text{W}]$
P_{pII}	Potřebný příkon motoru otoče II	$[\text{W}]$
R_{aI}	Reakce v bodě a ložiska I	$[\text{N}]$
R_{aII}	Reakce v bodě a ložiska II	$[\text{N}]$
R_{bI}	Reakce v bodě b ložiska I	$[\text{N}]$
R_{bII}	Reakce v bodě b ložiska II	$[\text{N}]$
R_e	Mez kluzu oceli	$[\text{Pa}]$
R_{stII}	Střední hodnota reakcí v ložisku II	$[\text{N}]$
ε	Úhlové zrychlení	$[\text{s}^{-2}]$
η_c	Celková účinnost	$[-]$
η_o	Účinnost ozubení	$[-]$

η_p	Účinnost převodovky	[-]
μ	Součinitel valivého odporu	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ω_r	Úhlová rychlost otáčení ramene	[s ⁻¹]

1. Úvod

V poslední době sledujeme mohutný rozvoj v oblasti vývoje technických materiálů. Od druhé poloviny minulého století probíhá neustálý vývoj nových materiálů, zvláště umělých hmot. Tradiční materiály jsou postupně nahrazovány nově vyvinutými látkami. Přes tento gigantický rozvoj zůstává význam oceli a ocelových výrobků. Bez oceli si nedovedeme představit další existenci průmyslového rozvoje. Ocel jako jeden z mála technických materiálů jde téměř 100% recyklovat. I v budoucnu bude poptávka po ocelových výrobcích. Proto je snaha všech výrobců oceli a ocelových výrobků neustále snižovat náklady na výrobu.

Ceny všech energií neustále stoupají a i nadále budou stoupat. Hutní průmysl je velmi náročný na energetickou spotřebu. Ocel se vytaví v elektrických pecích nebo v konvertorech, příp. v tandemových pecích. Až do poloviny minulého století se ocel téměř výhradně odlévala do stacionárních kovových forem tzv. kokil. V kokilách zchladla, po zchladnutí byla stripovacími jeřáby stripována – svlečena z kokil a samotné ingoty byly opět zahřívány v hlubinných pecích, aby po dosažení válcovací teploty byla válcována ve válcovnách na příslušný hutní polotovár.

Plynulé odlévání oceli se řadí mezi moderní výrobní metody oceli. Při tomto způsobu výroby je tekutá ocel přímo odlévána na tuhé polotovary, tzv. předlitky. Podle tvaru a průřezu vyráběného předlitku pak hovoříme o sochorovém, bramovém nebo blokovém plynulém odlévání. Tyto polotovary jsou určeny k dalšímu hutnickému zpracování na finální výrobky (plechy, dráty, profily, kolejnice a podobně)

Kontinuálním (plynulým) odlévání oceli se významně se ušetří energie pro ohřev a na část válcovacího procesu. Zároveň se celý proces zrychlí, zvýší se výrobní kapacita oceláren, v nemalé míře se ušetří i zástavbový prostor pro ocelárnu. Pomocí kontinuálního lití se dosáhlo nižších ztrát, vyšší kvality a produktivity a nižších nákladů. Kontinuální lití umožňuje levnou výrobu kovových dílů lepší kvality, díky podstatně nižším nákladům nepřetržitě, standardizované výroby a větší kontrole nad celým procesem (pomocí [automatizace](#)). Vyšší kvalita je dosažena mj. nižším objemem nežádoucích vměstků u kontislitku než u ingotu. Při následném válcování, mají pak vývalky menší rozptyl mechanických vlastností. Toto jsou pouze některé z výhod kontinuální výroby oceli. Z těchto důvodů se metoda plynulého odlévání stala dominantní technologií pro výrobu oceli na celém světě.

V současné době je více než 95 % celosvětové produkce oceli vyráběno právě metodou plynulého odlévání. Kromě oceli je možné tuto technologii výroby použít také pro hliník, měď a jejich slitiny. Konstrukce zařízení pro plynulé odlévání kovů a slitin může být několika provedení. Nejrozšířenějším z nich je radiální typ, který obsahuje sekundární chladicí zónu ve tvaru části kružnice - oblouku.

Sir [Henry Bessemer](#), proslulý svým [Bessemerovým konvertorem](#), získal v roce [1857 patent](#) na lití kovu mezi dvěma protichůdně se otáčejícími [válcí](#). Základní princip tohoto systému se dodnes používá pro lití ocelových pásů.

Ocel z elektrických pecí nebo konvertorů je přelita do pánví a dále do stroje na plynulé odlévání oceli. V moderních ocelárnách je běžné, že ještě před převzetím oceli pro ZPO je pánev přistavena na pracoviště pánvové metalurgie, kde se provádí mimopecní zpracování oceli. Pánev je vyzvednuta na otočný lící stojan a ocel je z ní dopravována do mezipánve. Tuhnutí začíná ve formě (kokila bez dna) a kontinuálně pokračuje v sekundární zóně a prochází tažnými válci. V některých konfiguracích následuje rovnací prvek. Dále následuje dělicí zařízení, dopravní zařízení dopravuje polotovary do skladu nebo horkou cestou pro konečné válcování.

V současné době jsou zařízení pro plynulé odlévání oceli (ZPO) v Ostravě-Vítkovicích (býv. Evraz), Ostravě-Kunčicích Arcellor Mittal – 3 kontilití a v Třineckých železárnách v Třinci- 2 kontilití brámová a sochorová.

2. Plynulé odlévání oceli

Princip plynulého odlévání rozpracoval H. Bessemer již v r. 1857 [1], avšak vývoj trval téměř sto let. Plynulé odlévání se začalo zavádět do provozu teprve od r. 1954, jeho podstatnější rozvoj nastal od r. 1964 širším zavedením zařízení s ohybem předlitku. Zařízení s ohybem ojediněle pracovala už od r. 1958. Podíl plynule odlévané oceli z celkové světové produkce vzrostl asi z 2% v r. 1965 na 13.5% v roce 1975 a na 30% v roce 1980. V současné době je více než 95% celosvětové produkce oceli vyráběno metodou plynulého odlévání [2]. Mimo ocel je tuto technologii výroby možné použít pro hliník, měď a jejich slitiny.

Podle konstrukčního provedení je možno zařízení pro plynulé odlévání rozdělit takto: vertikální zařízení bez ohybu plynulého předlitku nebo s ohybem plynulého předlitku do horizontálního směru, obloukové zařízení se zakřiveným krystalizatorem, rovným krystalizatorem nebo křivkové zařízení a rovněž horizontální zařízení plynulého odlévání.

2.1 Přednosti plynulého odlévání oceli

Prudký dosavadní rozvoj i další rozšiřování způsobu plynulého odlévání oceli je dáno mnoha činiteli, včetně technických a ekonomických ukazatelů. Mezi důvody úspěšného používání plynulého odlévání, které je zařazují k novým technologiím, patří zejména:

- vyšší jakost předlitků daná vyšší chemickou homogenitou (nerozvíjí se zonální makrosegregace) a vyšší homogenitou krystalické struktury, zvýšení jakosti konečného produktu po příslušném zpracování předlitků za tepla, možnost odlévat předlitky s tvarovaným profilem pro výrobu kolejnic, profilovou ocel, kruhovou ocel, pro výrobu bezešvých trub;
- zvýšení výtěžku vyhovující oceli, snížení nákladů: investičních, na další zpracování a na pracovní síly, na kokily a odlévací keramiku, snížení spotřeby energie, vyšší produktivita práce;
- zlepšení pracovního prostředí, lehčí práce;
- menší požadavky na pracovní prostor než pro odlévání kokil, proces odlévání je stabilní, málo závislý na zručnosti pracovníků, vyšší podíl kvalifikované práce, grafikon rovnoměrné práce ocelářského provozu se lépe zabezpečuje;
- zmenšení počtu operací dalšího zpracování, odpadá blokovna, slabing;
- vysoká způsobilost zařízení pro úplnou mechanizaci a automatické řízení pochodu odlévání.

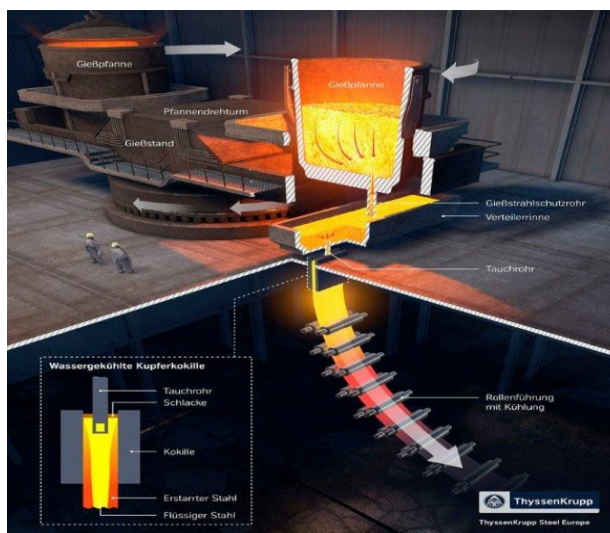
Výhody technologie plynulého odlévání však nelze posuzovat izolovaně podle jednotlivých kritérií. Například zvýšení výtěžku vyhovující oceli se dosahuje při minimálním počtu proudů odlévání, při minimální době odlévání a při optimální sériovosti odlévání bez potřebných změn krystalizátorů. Zvýšení technicko-ekonomických ukazatelů je zřetelné při sériovém odlévání ocelí, na druhou stranu se mohou tyto ukazatele snížit při nedostatečné pružnosti přechodu na odlévání předlitků různých rozměrů souvisících s potřebou častých výměn krystalizátorů. Uvedené výhody se uvažují rovněž jen v návaznosti s ostatními faktory majícími vliv na výsledky plynulého odlévání. Je třeba dosáhnout technické efektivnosti vzájemného sladění plynulého odlévání s ocelářskými výrobními agregáty a rovněž s navazujícími provozy válcoven.

Plynulé odlévání má některé nevýhody a omezení. Není zatím úplně dořešena možnost plynule odlévat všechny druhy ocelí. Některé druhy automatových ocelí a neuklidněné oceli se nedají plynule odlévat, pro legované a korozivzdorné oceli jsou potřebné speciální technologie výroby a odlévání. Obsah S a P v plynule odlévané oceli nesmí překročit hranici 0,02%, do určité míry jsou omezeny rozměry hotového předlitku a určité obtíže jsou dosud také se životností keramických materiálů pánve, mezipánve, uzávěrů i nástavců.

2.2 Charakteristika výroby oceli plynulým odléváním

Plynulé odlévání oceli je technologický postup, při kterém je roztavená ocel, tzv. tavenina, postupně transformována v zařízení pro plynulé odlévání na tuhý polotovár požadovaného tvaru (resp. průřezu) a délky, tzv. předlitek, který je následně dále zpracováván na finální výrobky, nejčastěji tvářením za tepla.

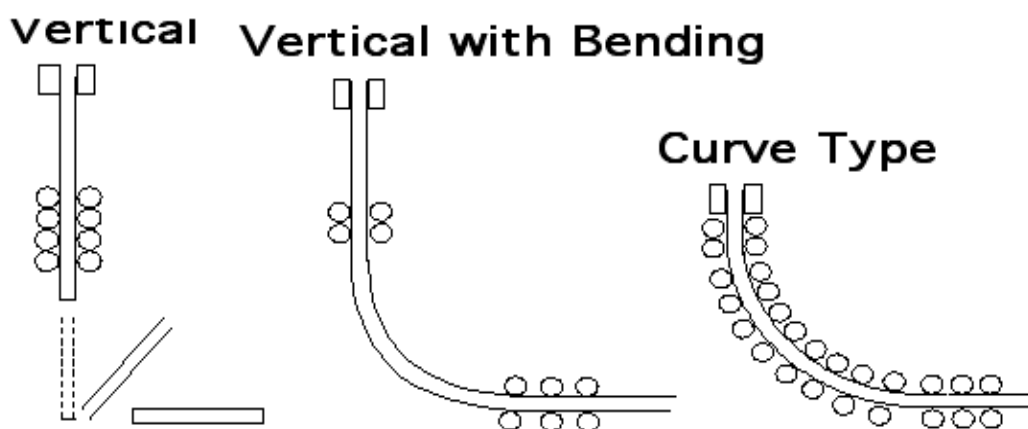
Charakteristickým rysem metody plynulého odlévání a hlavní odlišností ve srovnání s odléváním oceli do forem na ingoty je plynulost. Přestože je roztavená ocel dopravována periodicky v pánvích do mezipánve zařízení pro plynulé odlévání, lící stroj umožňuje kontinuálně odlévat předlitek polonekonečné délky, který je ovšem z důvodu manipulovatelnosti a dalšího zpracování periodicky dělen na požadovanou délku.



Obrázek 2.1 Schéma zařízení pro plynulé odlévání oceli.[6]

2.3 Zařízení k plynulému odlévání oceli

Při plynulém odlévání se ocel odlévá z pánve přes mezipánve do vodou chlazeného krystalizátoru, který slouží jako průběžná kokila. Schéma zařízení je na obrázku 2.1. Jelikož jsou stěny krystalizátoru intenzivně chlazeny a vzniká tenká vrstva ztuhlého kovu. Na výstupu z krystalizátoru je teplota povrchu předlitku kolem 1200°C a jádro předlitku je ještě tekuté. Dále postupuje předlitek do oblasti primárního a sekundárního ochlazování, kde se pomocí trysek přivádí na povrch předlitku voda v podobě jemné mlhy. Pohyb předlitku je zajištěn tažnými válečky. Na výstupu z oblasti sekundárního ochlazování (v jeho rovné části) musí být předlitek ztuhlý po celém průřezu, a teprve potom se rozřezává na kusy o požadované délce. Rozřezané předlitky se dále dopravují výklopníkem, dopravními válečky k místu dalšího zpracování, např. válcování.



Obrázek 2.2 Schéma způsobů plynulého odlévání oceli. [7]

Na obrázku 2.2 je uvedeno schéma *vertikálního způsobu odlévání*, jehož nevýhodou je požadavek na vysoké prostory v porovnání s křivkovým odléváním. Vertikální způsob vyžaduje velký prostor buďto nad úrovní hutní půdy, kdy je třeba zvedat pánev s tekutou ocelí do velkých výšek, nebo pod hutní úrovní. Celková výška zařízení na plynulé odlévání vertikálního typu je od 15 do 44m. Vertikální zařízení se začala používat jako první, v současné době jsou však již překonána. Z obrázku 2.2 je zřejmé porovnání nejběžněji používaných typů zařízení, kdežto na zařízení jiných typů se odlévá velmi málo oceli.

2.4 Hlavní části zařízení pro plynulé odlévání a princip jeho činnosti

Zařízení pro plynulé odlévání oceli je uzpůsobeno ke kontinuálnímu toku oceli od pánvi až po tažné stolice, kde vystupuje polotovár. Mimo manipulační prostředky, které zajišťují plynulost toku a jsou popsány v následující kapitole, se zařízení skládá z dále popsaných částí.

2.4.1 Licí pánev

Pánev na obrázku 2.3 slouží k dopravě roztavené oceli z pece nebo konvertoru do zařízení pro plynulé odlévání. Na obrázku lze mimo jiné vidět nezbytné součásti licí pánve, jako vyzdívka a hydraulicky ovládané šoupátkové uzávěry.



Obrázek 2.3 Licí pánev.[8]

Licí pánve jsou obvykle periodicky dopravovány jeřábem do otočného licího stojanu, který umožňuje manipulaci s více pánvemi nad licím strojem tak, aby byl zabezpečen přísun dostatečného množství roztavené oceli do mezipánve. Velikost pánve se obvykle pohybuje v závislosti na tavbě řádově v desítkách až stovkách tun (např. SOT-Vítkovice 200t, Třinecké železářny 200t).

2.4.2 Mezipánev

Mezipánev je umístěna pod otočným stojanem s licími pánvemi, ze kterých přitéká přes stínící trubici roztavená ocel. Mezipánev je obvykle tvořena vyzdívkou ze žáruvzdorných materiálů a opatřena víkem pro zmenšení tepelných ztrát taveniny.

Hlavním úkolem mezipánve je zajistit dostatečné množství taveniny pro provoz zařízení pro plynulé odlévání, jinými slovy tvoří zásobník oceli během výměny licí pánve na licím stojanu. Dále slouží k homogenizaci roztavené oceli a její teploty, oddělování zbývající strusky od taveniny a redukce ferostatického tlaku taveniny. Tyto činitele významně ovlivňují celkovou produktivitu zařízení pro plynulé odlévání a kvalitu odlévaných předlitků a proto je mezipánev jednou z nejdůležitějších částí zařízení pro plynulé odlévání. Velikost mezipánve se obvykle pohybuje řádově v desítkách tun.



Obrázek 2.4 Mezipánev k plynulému odlévání oceli. [9]

Zařízení pro plynulé odlévání jsou budovaná jako jednoproudová, dvouproudová až osmiproudová, tj. mezipánev má jeden, dva nebo až osm otvorů s výlevkami a se

samostatnými zátkovými nebo posuvnými uzávěry. Aby se snížily tepelné ztráty, předehřívá se vyzdívka mezipánví před odléváním na teplotu 900 až 1200°C a během odlévání se mezipánve přikrývají víky.

2.4.3 Krystalizátor

Je zařízení umístěné pod mezipánví, ze které je do krystalizátoru přiváděna tavenina pomocí ponorné trubice. Hlavní úlohou krystalizátoru je počáteční odvod tepla z taveniny a vytvoření tuhé slupky (kůry) na povrchu předlitku. Ztuhlá vrstva na povrchu předlitku musí mít na výstupu z krystalizátoru dostatečnou tloušťku a pevnost, aby zamezila svému protržení vlivem ferostatického tlaku taveniny a naopak umožnila průchod předlitku sekundární chladicí zónou, ve které je předlitek dále ochlazován.



Obrázek 2.5 Těleso krystalizátoru. [10]

Toto zařízení patří mezi nejdůležitější části zařízení pro plynulé odlévání, neboť homogenita a způsob odvodu tepla v krystalizátoru ovlivňuje celkové teplotní pole předlitku, strukturu vznikající tuhé fáze, tepelné napětí působící na předlitek a další veličiny ovlivňující kvalitu odlévané oceli. Krystalizátory lze podle konstrukce rozdělit na *deskové* a *trubkové*.

Krystalizátor, který je chlazený protékající vodou, je nejčastěji vyroben z téměř čisté mědi (2% stříbra), případně ze slitin mědi pro jejich vysokou tepelnou vodivost. Vnitřní povrch krystalizátoru je v některých případech opatřen niklovou ochrannou vrstvou a průřez krystalizátoru určuje odlévaný formát předlitku. Z důvodu tepelné smrštivosti oceli

je krystalizátor konstruován jako osově se zužující, čímž se předchází vzniku mezer mezi krystalizátorem a předlitkem, které způsobují výrazný nežádoucí pokles odvodu tepla z předlitku.

Během provozu zařízení pro plynulé odlévání vykonává krystalizátor kmitavý oscilační pohyb ve směru lití, který zabraňuje ulpívání předlitku na stěnách krystalizátoru, rozrušování povrchu předlitku a vzniklé kůry a počáteční tvorbě vad. Pro snížení tření mezi krystalizátorem a pohybujícím se předlitkem se během odlévání do krystalizátoru přidává tzv. licí prášek, který kromě snížení tření vytváří po natavení v krystalizátoru na hladině taveniny, tzv. menisku, vrstvu, která brání reoxidaci oceli, pohlcuje vměstky a tepelně izoluje meniskus a taveninu od okolního prostředí.

2.4.4 Tažné stolice a rovnací zařízení

Jsou dle celkového uspořádání zařízení pro plynulé odlévání často součástí sekundární nebo terciální chladicí zóny. Tažná stolice je zařízení skládající se ze systému válců, které jsou poháněny nejčastěji elektromotorem a způsobují nucený pohyb předlitku licím strojem.



Obrázek 2.6 Tažné a rovnací stolice. [11]

V závislosti na typu zařízení pro plynulé odlévání oceli a odlévaném formátu může být umístěno několik tažných stolic za sebou. Součástí radiálního zařízení pro plynulé odlévání oceli je také rovnací zařízení, jehož umístění na zařízení pro plynulé odlévání oceli se označuje jako místo rovnání. Rovnací zařízení je tvořeno systémem válců, který silovým

působením vyvolává v předlitku plastické deformace a vyrovnává předlitek opouštějící obloukovou část zařízení pro plynulé odlévání oceli do přímého tvaru.

2.4.5 Dělicí zařízení

Je umístěno na výstupu zařízení pro plynulé odlévání oceli a slouží k dělení předlitku na požadovanou délku. V současné době je pro dělení nejčastěji používán kyslíkovo-acetylénový pálicí stroj, v minulosti se pro menší odlévané formáty používalo i mechanických nůžek, které však způsobovaly nežádoucí deformace předlitku.



Obrázek 2.7 Dělicí pálicí stroj. [12]

Důležitými částmi zařízení pro plynulé odlévání oceli jsou rovněž systémy pro chlazení a přepravu odlitých předlitků k dalšímu zpracování nebo uskladnění, systém pánvového hospodářství s předehevem, tavicím agregátem (pecí, konvertorem) a systém vodního hospodářství (nádrže, čerpadla apod.) zajišťující distribuci chladicí vody do celého lícího stroje. Pro zlepšení homogenity odlévaných předlitků bývá zařízení pro plynulé odlévání oceli pod krystalizátorem vybaveno elektromagnetickým míchacím zařízením, které na principu elektromagnetické indukce vytváří v předlitku silové pole umožňující promíchávání taveniny v jádře předlitku.

2.5 Automatizace základních činností

Na lící plošině musí zaměstnanci zabezpečovat řadu funkcí. Tyto funkce zajišťuje chod zařízení pro plynulé odlévání (ZPO) oceli automatizace některých důležitých činností.

K jejich základním činnostem patří: přepravit a uložit mezipánev k manipulátoru, přesun mezipánve do tzv. servisní polohy manipulátoru, posun manipulátorem k

předehřevu mezipánve a její licí trubice před odléváním, seřízení krystalizátoru pro odlévání, zavedení zátky do krystalizátoru a její utěsnění, doprava pánve s ocelí, která je dopravena mostovým jeřábem z ocelárny, zasunout licí trubicí pro ochranu proudu tekuté oceli proudící z pánve do mezipánve před okolní atmosférou, přemístit manipulátorem mezipánve přesně nad krystalizátory do licí polohy, zahájit napouštění mezipánve tekutou ocelí, v případě havárie zprůchodnit výtok z mezipánve, zakrýt hladinu v mezipánvi práškem / struskou proti okysličování, zahájit plnění krystalizátoru tekutou ocelí, zakrýt hladinu v krystalizátoru licím práškem, spustit vytahování zátky / startovací tyče a kontislitku, zapnout oscilace krystalizátoru, udržovat vhodnou úroveň hladiny tekuté oceli v krystalizátoru, udržovat vhodnou úroveň hladiny tekuté oceli v mezipánvi, udržovat vhodnou tloušťku licího prášku / strusky v krystalizátoru, udržovat vhodnou tloušťku strusky v mezipánvi, měřit teplotu (případně další parametry) oceli v mezipánvi, řídit parametry odlévání (licí rychlost, parametry oscilací krystalizátoru) dle aktuálních vlastností odlévané oceli, měnit vybrané parametry odlévání v případě nenadálých situací (např. zabránění průvalu), zajistit uzavření výtoku z pánve po jejím vyprázdnění (nepřipustit tok strusky z pánve do mezipánve), odpojit licí trubicí od pánve a tuto čistit (kyslíkem), vyměnit pánve manipulátorem po době životnosti, vrátit licí trubicí na plnou pánve, provádět případnou letmou výměnu mezipánve, odebrat strusku z povrchu tekuté oceli v krystalizátoru před koncem odlévání, ukončit odlévání zavřením přítoku oceli z mezipánve a nastavením předepsaného režimu vytahování kontislitku.

2.5.1 Udržování vhodné hladiny tekuté oceli v mezipánvi

Je-li mezipánvový vůz vybaven spolehlivými snímači hmotnosti mezipánve, využívá se hmotnost k regulaci úrovně hladiny oceli v mezipánvi. Záludnost této regulační úlohy spočívá v nutnosti prevence možného „zamrznutí“ uzavěru pánve z důvodu nastavení malého průtoku.

2.5.2 Měření teploty a dalších parametrů oceli v mezipánvi

Manipulátor k zavádění sond pro ponorná měření v tekuté oceli v mezipánvi je předpokladem automatizace této důležité činnosti. Ne všechny manipulátory však spolehlivě dovedou vyměnit použitou sondu na své měřicí tyči. Dále je také důležité sledovat tloušťku a vnější teplotu stěny mezipánve.

3. Manipulační a zvedací zařízení v procesu plynulého odlévání

V ocelářském provozu se využívá mnoho manipulačních prostředků k přemísťování nádob s tekutým kovem i prázdných nádob mezi technologickými místy, ale také přímo v rámci daného procesu. Nejdůležitější z těchto manipulačních prostředků jsou uvedeny v této kapitole.

3.1 Jeřáby

K nejběžnějším hutním zvedacím zařízením patří mostový jeřáb, který se skládá z jeřábového mostu, který má možnost pojezdu po své jeřábové dráze a tzv. kočky, která pojíždí po tomto mostu. Jeřábový most určen pro velké nosnosti a je tvořen příhradovou nebo plnostěnnou konstrukcí.



Obrázek 3.1 Mostový jeřáb pro manipulaci s licími pánvemi.[13]

Jeřáby pro licí pánve jsou navrženy pro efektivní, nepřetržitý a bezpečný provoz v nepřetržitém režimu. Konstrukce musí splňovat požadavky mezinárodních norem.

Vzhledem k vyššímu riziku jsou na licích jeřábech navrženy speciální bezpečnostní prvky. Jeřáb pro dopravu licí pánve s roztaveným kovem je zobrazen na obrázku 3.1. Hlavní zvedací mechanismy zahrnují nezávislá vinutá lana, dvojité provozní brzdy jsou umístěné na primárních hřídelích a záložní brzda působící na lanový buben. Vyrovnávací lanové nosníky jsou vybaveny tlumícími jednotkami s cílem zpomalit překlopení v případě

selhání lana. Na hlavním kladkostroji se používá horní koncový spínač nouzového zastavení. Kromě této ochrany proti přetížení patří systém „Nouzového vypnutí“, podpěry proti vykolejení a koncové spínače k automatickým standardním funkcím zařízení. Všechny části mechanických a elektrických zařízení, jsou navrženy tak, aby byly snadno přístupné z permanentních servisních plošin pro seřízení, mazání, kontrolu, údržbu a opravy. Důraz je kladen na rychlou výměnu vadných nebo opotřebovaných částí určených k opravě.

Vyšší spolehlivost jeřábu a dostupnost může být dosaženo s rozsáhlými měřeními a diagnostickými daty v reálném čase.

3.2 Transportní traverzy pro přesun a otáčení pánví

Uchopovacím prostředkem licích pánví a mezipánví mostových jeřábů jsou traverzy, které umožňují pánev uchopit buďto ve dvou nebo čtyřech bodech. Traverza se skládá ze samotné traverzy, křížových závěsů a lamelových háků.



Obrázek 3.2 Traverza pro manipulaci s licími pánvemi. [14]

Traverza je zavěšena na dvojité hák jeřábu pomocí táhel, které se přiklopí k háku. Křížový závěs umožňuje vychýlení háku v obou směrech. Čep křížového závěsu a čep háku je mazán prostřednictvím maznic na čelech čepů. V uložení háku v křížovém závěsu jsou háky opatřeny vyměnitelnou ocelovou vložkou. Ve spodní části háku je lůžko háku, které je také možno vyměnit, a nárazka zabraňující poškození samotného těla háku při uchopování pánve.

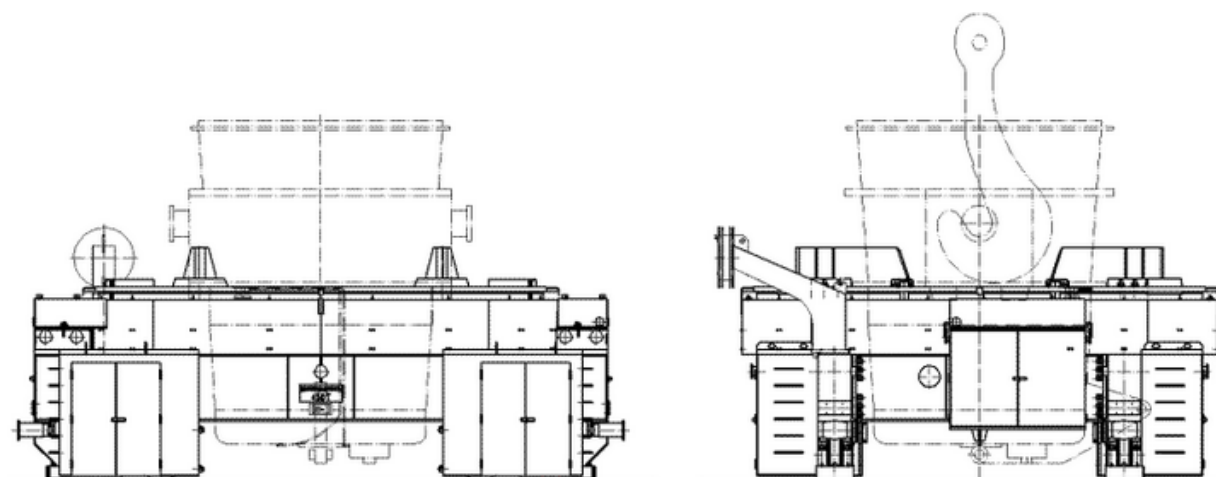


Obrázek 3.3 Traverza pro manipulaci s mezipánvemi. [15]

Všeobecně lze podle způsobu výroby rozdělovat jeřábové háky na kované a lamelové (odlévané či svařované háky se nesmějí u jeřábů používat). U transportních traverz pánví se používají háky lamelové. Ty se skládají z několika plechů (lamel) spojených nýty. Dosedací plochu háku tvoří ocelová vložka, kvůli rovnoměrnému rozložení tíhy břemene na jednotlivé lamely při uložení čepu pánve nebo mezipánve.

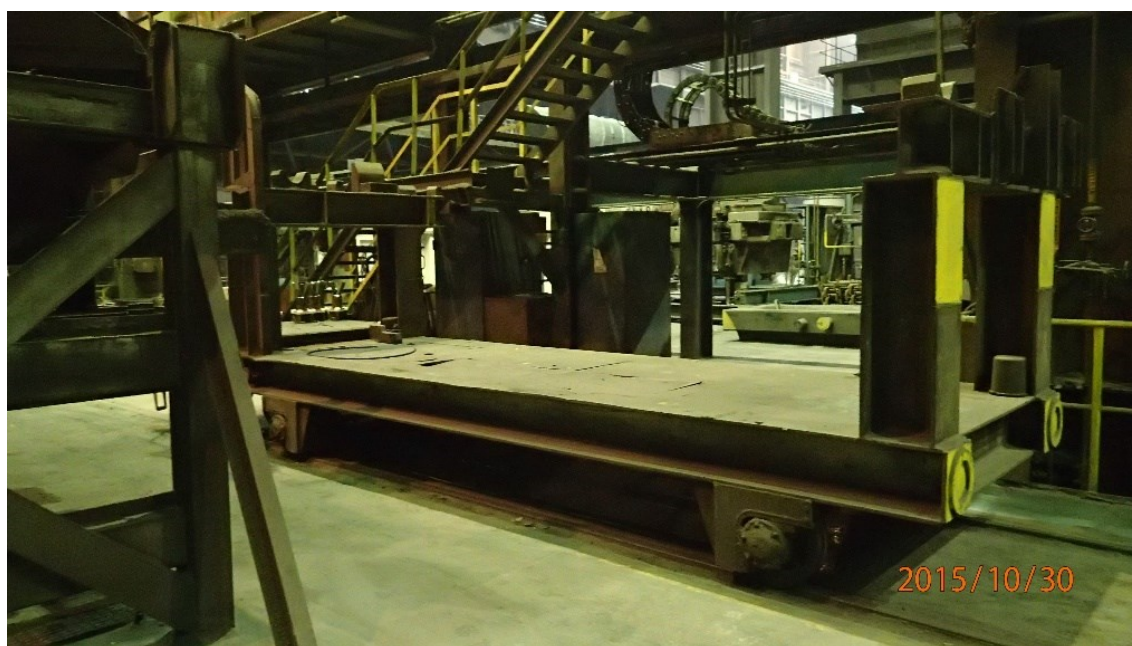
3.3 Pánvové a mezipánvové vozy

Vůz na mezipánev s otočí je určen pro dopravu pánve s ocelí z předávacího prostoru za pánvovou pecí do prostoru pod otočným licím stojanem a zpět. Pánev s ocelí je do vozu usazená licím jeřábem v prostoru za pánvovou pecí. Po usazení pánve do vozu přejíždí vůz pod otočný licí stojan. Pánev ve voze je otočená o 90 °, vyjmutá dalším licím jeřábem z vozu a usazená do otočného licího stojanu.



Obrázek 3.4 Schématické zobrazení pánvového vozu. [16]

Vůz je tvořen následujícími základními strojními díly: vahadlo s pohonem, spodní rám, sestava otočného rámu, horní rám, pohon otočného rámu, nouzový pohon otočného rámu, pneumatické rozvody, sestava krytů.



Obrázek 3.5 Mezipánvový vůz. [21]

Mezipánvové vozy slouží k převozu prázdných mezipánví mezi otočným licím stojanem a servisním místem, kvůli jejich renovaci v případě přílišného opotřebení jejich vyzdíky.

3.4 Otočný licí pánvový stojan (OLS)

Důležitou součástí zařízení pro plynulé odlévání je otočný stojan pánví. Slouží jako držák licích pánví (hmotnost až 300 t). Pomocí otočného stojanu pánví se licí pánve

střídavě otáčejí do polohy při lití respektive při nakládání. Tato funkce zaručuje plynulý provoz zařízení k plynulému lití. Zatímco se jedna pánev vylévá, druhá strana se nahradí plnou pánví. Lící stojan je svařované konstrukce sestávající ze dvou částí, navzájem spojených šrouby. Dojní kruhová část je přichycená základovými šrouby. Podstavec má dvě opracované dosedací plochy, které slouží pro uchycení ložisek. Na otočné části velkorozměrových ložisek jsou uchycena ramena pro přesun pánvi. Ramena jsou vybavená vážicím zařízením pro pánve. Velkorozměrová ložiska dovolují otáčení ramen s pánvemi o 360°. Jejichž rotace může být na sobě nezávislá. Otáčení každé pánve je provedeno elektromotorem a otáčivý pohyb je přes převodovou skříň přenášen na ozubený věnec velkorozměrového válečkového ložiska. V případě havárie je otáčení prováděno pomocí pneumatického motoru pohaněného tlakovým dusíkem vzduchem s rozvodu. Ložiska v otočném stojanu pánví dosahují i přes velké síly a vysoké momenty délky životnosti více než 20 let (výrobce ložisek ručí minimálně 13 let).



Obrázek 3.6 Otočný lící pánvový stojan.[17]

3.5 Otočný mezipánvový stojan

Otočný stojan mezipánve je součástí zařízení pro plynulé odlévání oceli. Úkolem otočného stojanu je převzetí dvou mezipánví. Jedna mezipánve se přitom nachází přesně

v lící poloze a druhá se mezitím nachází v poloze předeřevu. Otočný stojan mezipánve umožňuje výměnu mezipánví v krátkém čase, takže je umožněno vykonávat kontinuální lící proces.

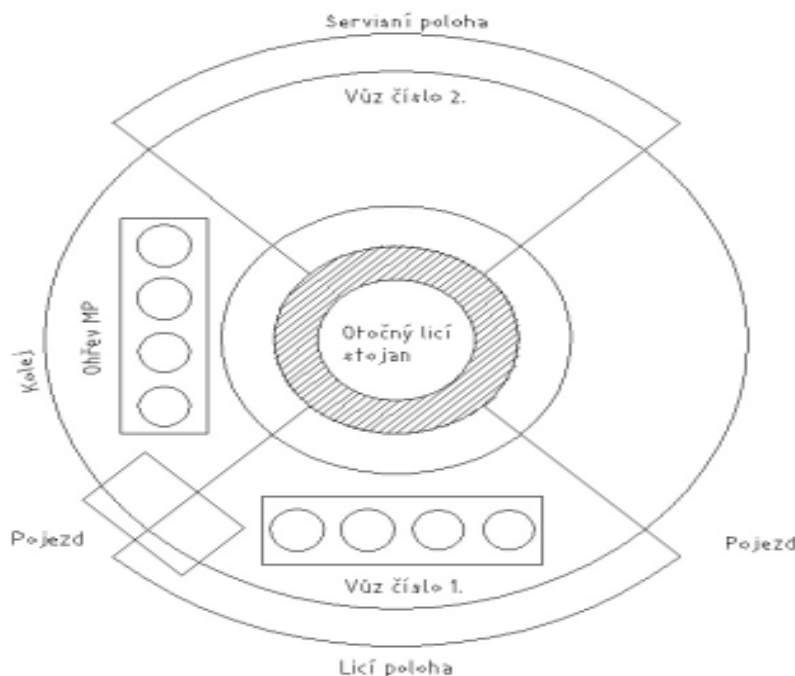
Při procesu plynulého odlévání oceli slouží mezipánev jako jakýsi vyrovnávací článek mezi lící pánví a krystalizátory, ve kterých začíná budoucí kontislitek po svém obvodu tuhnout. Krystalizátor je vlastně měděná kokila bez dna, která je intenzivně chlazená na svém vnějším obvodu vodou. Během procesu odlévání musí být v krystalizátoru neustále udržována hladina tekuté oceli v určité výši tak, aby se intenzivním chlazením vytvořila na obvodu kontislitku tenká vrstva ztuhlého kovu. Kontislitek je tažen startovací tyčí nebo startovacím řetězem z krystalizátoru do lícího oblouku, kde pokračuje přímé ochlazování vodním ostřikem.



Obrázek 3.7 Pánvový a mezipánvový manipulátor. [17]

Do mezipánve je odlévána tekutá ocel ze dna lící pánve. Ve dnu mezipánve jsou výpustné otvory. Počet výpustných otvorů je dán počtem krystalizátorů – počtem lících proudů. Mezipánev slouží nejen jako vyrovnávací mezičlánek, ale i jako zásobník tekutého kovu podobu výměny lící pánve. Lící pánev je lícím jeřábem uložena do ramen otočného lícího stojanu a pootočena do servisní polohy. V této poloze jsou ke dnu pánve připevněna šoupátka a připojena hydraulika k ovládání výpustných šoupátek. Většina lících stojanů má dva druhy ramen. Když např. lící pánev na spodních ramenech je prázdná, pootočí se do nasazovací polohy a na její místo je pootočena za servisní polohy do lící polohy plná lící pánev. Po dobu výměny lících pánví musí mezipánev zaručit plynulé odlévání. Před časem naše firma monitorovala pomocí termovizní kamery opotřebení vyzdívky mezipánve s

cílem určit nevhodnější vyzdívku mezipánví s ohledem na největší počet sekvencí bez přerušení lití a bez výměny mezipánve. Maximální počet sekvencí bez přerušení byl 13. Větší počet nebyl zkoušen z důvodů nebezpečí průvalu boční stěnou mezipánve.



Obrázek 3.8 Prostorová situace ZPO 1.[20]

Tvar mezipánve je přizpůsoben počtu licích proudů a prostorovou situací kolem otočného licího stojanu. Také trajektorie dráhy mezipánvových vozů se liší dle prostorových poměrů dané ocelárny. Prostorová situace na ZPO 1 v TŽ je řešena kruhovou dráhou kolem otočného licího stojanu. Kruhová dráha je tvořena dvěma kolejnicemi. Střed kruhové dráhy tvoří otočný licí stojan. Po kruhových kolejnicích se pohybují dva mezipánvové vozy. Mezipánvový vůz je přivezen ze servisní haly, kde je zhotovena vyzdívka vozu částečně z žáruvzdorných cihel a částečně ze žáruvzdorného betonu. Ve dně MP vozu je 5 licích otvorů pro 5 licích proudů. MP vůz je v servisní hale zavěšen pomocí převážecího rámu, který má 4 lamelové háky na mostový jeřáb servisní haly a uložen na převážecí vůz, který zajišťuje převoz do licí haly v kolmém směru. V licí hale je opět pomocí převážecího rámu zavěšen na licí 300t jeřáb a uložen do jednoho ze dvou MP vozů. Po kruhové dráze je převezen MP vůz do prostoru vyhřívání. Následně je MP vůz zakryt sklopným víkem, ve kterém jsou plynové hořáky. Na tomto pracovišti je MP vůz ohřán na teplotu potřebnou pro lití. Po ohřevu je mezipánve pomocí speciálních zvedáků vyzdvižena o 640mm tak, aby mohla projet nad krystalizátory. Toto zvedání MP zajišťují 2

šroubové zvedáky pomocí kuličkových šroubů. MP vůz se pohybuje po 3 kolech. Šroubové zvedáky jsou umístěny u pojezdových kol na vnější kruhové dráze. Tato kola jsou v šikmé poloze. Na vnitřní dráze je pouze jedno pojezdové kolo. Po bocích MP jsou umístěna táhla, která umožňují pomocí excentrů posunout MP dál nebo blíže od středu otočného licího stojanu. Tento přesun je nutný pro různé velikosti formátů kontislitků. V současné době se provádí úprava a zvětšení posunu MP z důvodu přestavby ZPO 1 na lití kontislitků o průměru $D = 550$ mm. Po ohřevu je po kruhové dráze pootočen MP vůz o 90° do licí polohy. Nad MP vůz najede 300t licí jeřáb se zavěšenou 200t licí pánví a po otevření šoupátek ve dně licí pánve se začne plnit MP vůz tekutou ocelí. MP vůz musí zajistit rovnoměrné plnění krystalizátorů i během výměny licích pánví. Mezitím probíhá přesun a ohřev další mezipánve. Na ZPO 2 v TŽ a.s. je 8 licích proudů, proto se během odlévání používají 2 mezipánve a do nich se lije ze dvou otvorů ve dně licí pánve ocel. Po obou stranách OLS 2 jsou vytvořena přehřívací pracoviště mezipánví. Po ohřevu jsou přivezena ke dvěma portálovým mezipánvovým vozům. Šroubovými zvedáky si je mezipánvové vozy vyzvednou a z každé strany přivezou mezipánve k licímu stolu nad krystalizátory.

V ocelárně Ostrava-Vítkovice jsou 80t licí pánve a pouze jeden licí proud. Na tomto zařízení se odlévají bramy pro výrobu tlustých plechů. Vedle OLS je také otočný stojan pro mezipánve. Výměna mezipánví se děje pomocí tohoto otočného mezipánvového stojanu. Jedná se masivní ocelovou konstrukci s otočnými středovými velkorozměrovými ložisky. Tato ložiska zabezpečují otáčení dvou nezávislých ramen. Na ramenech jsou umístěny mezipánve. Na každém rameni je umístěna jedna mezipánve. Na plošině OLS je místo pro uložení mezipánví a dosahu je místo pro přehřev pánví.

4. Současný stav otočného mezipánvového stojanu

Konstrukce otočného stojanu mezipánví je provedena jako skříňová konstrukce, jejíž součástí jsou velkorozměrová ložiska, na nichž spočívají nosná ramena. Dvě vzájemně nezávislá otočná ramena přemísťují jednotlivě či také současně mezipánve z nasazovací polohy do polohy ohřevu nebo do polohy lící. V průběhu lití z jedné mezipánve, lze do druhého ramene uložit mezipánvev druhá.

4.1 Konstrukce a funkce částí stojanu

Stojan sestává ze stabilní svařované konstrukce. Stojan stojí na lící plošině a je s ní sešroubovaný pomocí upínacích šroubů. Horní příruba slouží k uchycení velkopřůmyslových ložisek pro otáčení ramen stojanu.

Každé nosné rameno je vybaveno hydraulickým zvedacím zařízením (zdvih 600 mm), zdvihacím rámem a vážním zařízením. Jelikož natáčení obou ramen je vzájemně nezávislé, má každé z nich vlastní pohon. Tyto pohony otáčecích mechanismů ramen se nacházejí uvnitř nebo vně otočného stojanu mezipánve dle umístění cévového věnce. Každé rameno je mimo elektrický pohon vybaveno také pneumatickým nouzovým pohonem, aby bylo umožněno otáčení nosných ramen při výpadku proudu.

4.1.1 Nosná ramena

Součástí stojanu jsou dvě nosná ramena (horní a dolní), která jsou rovněž tvořena stabilním skříňovým svařencem a slouží k nesení zdvihacího rámu a mezipánve. Na vnějších koncích nosného ramene jsou našroubovaná vodítka, která slouží k upevnění a vedení zmíněného zvedacího rámu.

4.1.2 Zvedací rámy

Zvedací rám je tvořen svařovanou konstrukcí z plných nosníků. Zvedací rám je veden třecími deskovými vodítky na nosném rameni. Tento rám je opatřen otvorem pro zasunutí oka pístnice hydraulického přímočarého motoru, který je součástí zdvihacího mechanismu, připevněného k nosnému rameni a následně jsou spojeny pomocí čepu.

Součástí tohoto rámu je také vážný rám, do kterého je vsazená mezipánve. Vodítka centrují mezipánve při nasazování. Na spodní straně vážního rámu jsou upevněné tlakové desky měřících dóz. Snímací zajištění zabraňuje naklonění vážního rámu při nasazování mezipánve.

4.1.3 Velkopřůměrová ložiska stojanu a pohony mechanismu

Velkopřůměrové ložisko je třířadé válečkové ložisko a slouží k zachycení všech sil a momentů a umožňuje otočný pohyb otočného stojanu mezi pánev. Otoč se skládá z horního a spodního opěrného kroužku. Oběžná dráha má vytvrzený povrch pomocí indukčního postupného přímočarého kalení. Klec ložiska je okénková a se skládá ze speciálních mezikusů, tím je zajištěno relativně těsné rozložení válečků a tím vysoká nosnost. Velkorozměrové ložisko je pomocí vysokopevnostních průchozích šroubů bezpečně spojeno ze stojanem. Předepnutí šroubů se provádí hydraulicky pomocí speciálního hydraulického předepínače tzv. Hydrocam. Ložisko je zásobováno tukem z centrálního mazacího přístroje.



Obrázek 4.1 Stávající cévový převod. [21]

Pohonná jednotka se skládá z elektromotoru, spojky, brzdy a cyklo převodovky (cévový převod). Z převodovky je prostřednictvím hřídele pohaněn pastorek (obrázek 4.1), který zasahuje do ozubení velkopřůměrového ložiska. V nouzovém případě (např. výpadek dodávky elektrické energie) se pohon otáčení provádí pomocí tlakovzdušného motoru, který je upevněn přírubou na převodovku. Odpojení vedení pohonu se provádí pneumaticky ovládanou zubovou spojkou. Ramena jsou v tomto případě přesunuta z lící polohy nad nouzovou pánev, která je zabudována v podlaze.

V lící poloze je rameno aretováno pomocí představitelného blokování. Polohování se provádí hydraulickým zařízením.

4.2 Nouzový pohon

Nouzový pohon je důležitý pro otáčení rameny v případě nečekaného výpadku přívodu elektrické energie. Je realizován působením tlakové energie stlačeného plynného média. Jako tlakové médium se používá stlačený vzduch nebo dusík.

Zdrojem tlaku média může být realizováno následujícími způsoby:

- samostatná kompresorová stanice,
- akumulátor stlačeného plynu,
- centrální rozvod stlačeného média podniku.

Předpoklady pro funkci nouzového pohonu jsou splněny, ve chvíli kdy všechny magnetické ventily zůstanou bez napětí. Ventil bez napětí je otevřen, to znamená, že je řídicí tlak k dispozici v řídicí skříni. Ovládáním ventilu v řídicí skříni lze nosnými rameny otáčet volitelně vlevo či vpravo. Aby se dosáhlo otáčení ramene v požadovaném směru, jsou nezbytné následující kroky:

- zrušit zablokování manipulací s otočným knoflíky na řídicí skříni,
- obsluha ventilu horního či dolního pohonu, přičemž:
 - o je předvolen směr otáčení tlakovzdušného motoru,
 - o sepnutí ventilu (se zpožděním cca 2 sekundy),
 - o dochází k sepnutí spojky příslušného nouzového pohonu,
 - o otevírají se čelist'ové brzdy pohonů (v případě že se rameno nachází v lici poloze je brzda již otevřena),
 - o nouzový pohon otáčí příslušným ramenem ve stanoveném směru.

Po ukončení průběhu otáčení zůstávají všechny prvky ve výše popsané poloze, také přepínací ventil – ten je současně opatřen nastavitelným zpožděním cca 3 sekundy. Ventil směru otáčení tlakovzdušného motoru je však ihned odvzdušněn, předchází do uzavřené polohy a uvádí otočný stojan do klidu.

Díky zpoždění vypínacích funkcí je nyní možná rychlá korekce polohy nosného ramene, bez toho, aby musely znovu proběhnout všechny vedlejší funkce.

Po dosažení požadované polohy proběhnou následující funkce:

- přepínací funkce se přepíná do uzavřené polohy,
- vypíná se spojka nouzového pohonu,
- uzavírající se čelist'ové brzdy (v případě, že se rameno nenachází v lici poloze).

4.3 Návrh variant řešení a technická data

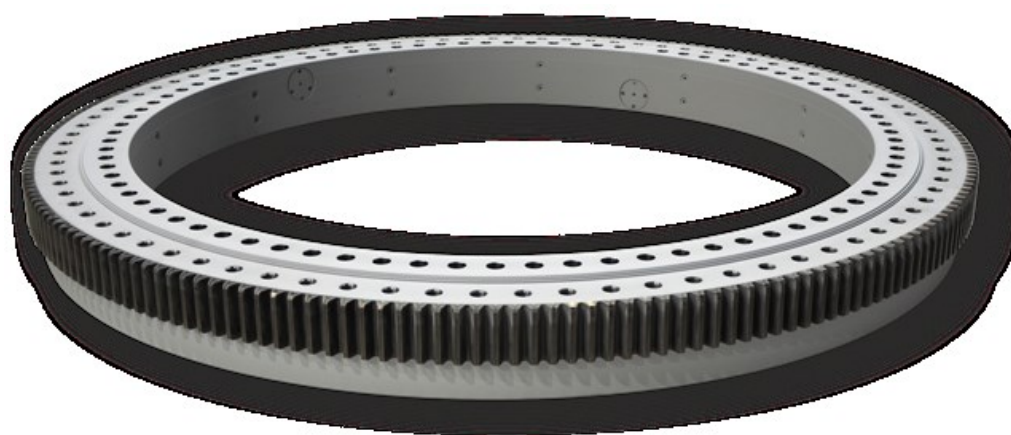
Návrh variant upravení stávajícího stavu konstrukce otáčecího mechanismu otočného stojanu pro manipulaci s licími mezipánvemi pro plynulé odlévání oceli do jejich funkčních poloh dle technologického procesu spočívá v úpravě či rekonstrukci způsobu otáčení nosnými rameny. Současný stav lze modernizovat podle dvou následujících variant:

1. Varianta řešení

První navrhovanou možností je celková rekonstrukce a renovace původního řešení s cévovým převodem, návrhem nových pohonných jednotek společně s novým řešením pohánění ramen v případě výpadku přívodu elektrické energie (nový typ nouzového pohonu) a volbou modernějšího typu axiálního velkorozměrového ložiska s větší únosností.

2. Varianta řešení

Druhá varianta řešení zahrnuje návrh jiného způsobu přenosu mechanické energie z pohonu na nosná ramena upravením konstrukce otočného mechanismu, kdy původní ložiska jsou nahrazeny velkorozměrovými ložisky s integrovaným vnitřním nebo vnějším ozubením, která nahrazují cévový převod. Ozubení je v této situaci součástí přímo oběžných drah ložisek, které jsou vysokopevnostními šrouby spojeny s nosným rámem.



Obrázek 4.2 Velkorozměrové axiální ložisko s vnějším ozubením.[18]

Jako vhodná varianta se jeví varianta č. 2. Z důvodu nahrazení původních ložisek, modernějšího únosnějšího typu ložiska z kvalitnějšího materiálu a nahrazení stávajícího způsobu přenosu energie z pohonu na nosná ramena a tím zpřesnění ovládání polohy mezipánví.

4.4 Technická data otočného mezipánového stojanu

Základní vstupní technické údaje o fungování otočného mezipánového stojanu jsou uvedeny v tabulce 4. 1.

Tabulka 4.1 Vstupní technická data.

Maximální hmotnost tavby	18,5t
maximální hmotnost prázdné mezipánve	40t
Poloměr otáčení (od středu stojanu po střed výtoku z mezipánve)	4300mm
Úhel otáčení v normálním provozu	neomezen
Minimální úhel mezi rameny	90°
Rychlost otáčení ramene v normálním provozu	1 ot/min
Rychlost otáčení ramene v nouzovém provozu	0,5 ot/min

5. Stanovení působících sil a dimenzování mechanismu otáčení

Výpočtové schéma otočného stojanu licích mezipánví je znázorněno na obrázku 5.1. Schéma zobrazuje působení vnějších zatěžujících sil a klopných momentů způsobených tíhou jednotlivých částí zařízení a reakčních sil, které vznikají tímto vnějším zatížením ve velkorozměrových axiálních ložiscích otočného stojanu.

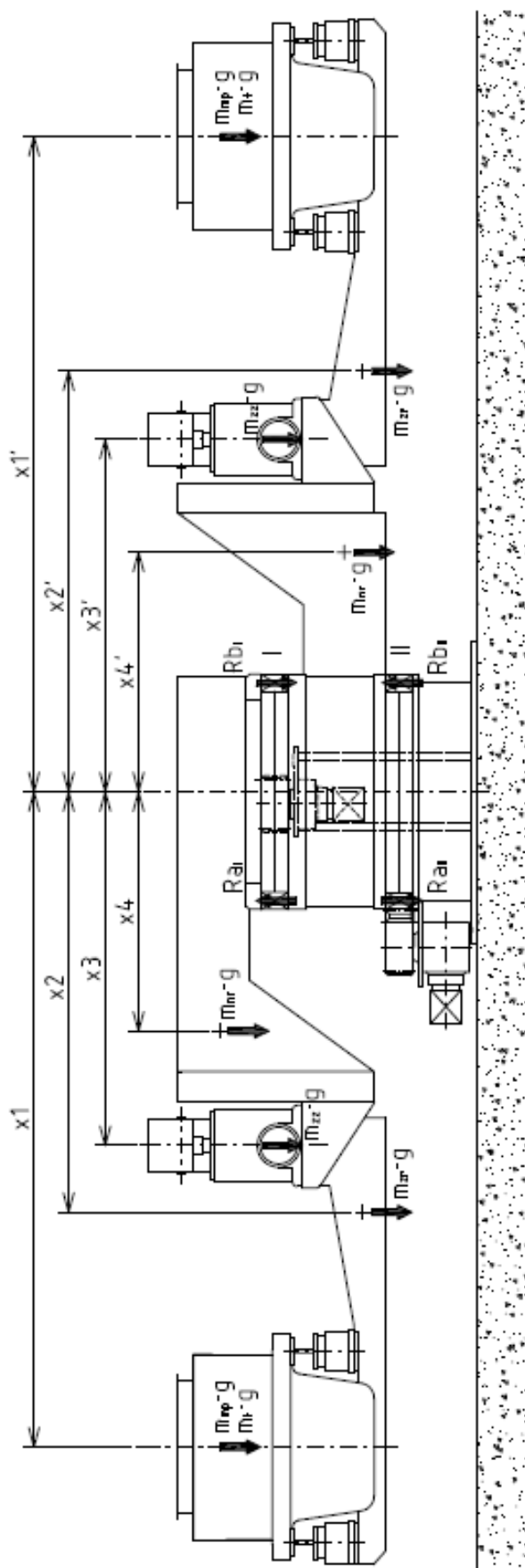
Statická část otočného stojanu je pevně spojena se základy stavby základovými šrouby. Na něm také spočívá pevná část oběžné dráhy velkorozměrového axiálního ložiska (dráha bez ozubení). Také nese pohony příslušných otočných mechanismů. Druhá oběžná dráha, která spočívá na valivých těliscích ložiska, je posléze připevněna k hornímu nebo dolnímu nosnému rámu. Tato část ložiska je taktéž na svém vnějším nebo vnitřním obvodu opatřena ozubením, do kterého zapadá ozubení pastorku pohonu.

Z tohoto vyplývá, že obě ramena nejsou vzájemně propojena a každé spočívá na stojanu samostatně a lze tedy volit velkorozměrové axiální ložisko spolu s pohonem pro každé rameno totožné, liší se pouze vnitřním a vnějším ozubením

Tabulka 5.1 Hmotnostní a těžištní vzdálenosti jednotlivých částí ramene.

	Hmotnost	Vzdálenost těžiště od osy otáčení
<i>Nosný rám</i>	$m_{nr} = 8000 \text{ [kg]}$	$x_4 = 1,560 \text{ [m]}$
<i>Zdvihací zařízení</i>	$m_{zz} = 100 \text{ [kg]}$	$x_3 = 2,400 \text{ [m]}$
<i>Zdvihací rám</i>	$m_{zr} = 8188 \text{ [kg]}$	$x_2 = 2,815 \text{ [m]}$
<i>Mezipánev</i>	$m_{mp} = 40000 \text{ [kg]}$	$x_1 = 4,300 \text{ [m]}$
<i>Tavba</i>	$m_t = 18500 \text{ [kg]}$	

Každé z ramen se skládá ze tří hlavních dílů a to nosného ramene, které je přímo spojeno s ozubenou částí ložiska pomocí šroubů, zdvihacího rámu, na němž spočívá samotná mezipánev a zdvihacího zařízení, které spojuje oba zmíněné rámy a slouží k vertikální manipulaci se zdvihacím rámem, aby bylo možné ustavit mezipánev v dané funkční poloze. Do celkové hmotnosti ramene je nadále nutno dle vztahu 5.1 započítat také hmotnost samotné mezipánve společně s tavbou. Hmotnosti a vzdálenosti jejich působišť jednotlivých částí ramene jsou vedeny v tabulce 5. 1. Tyto hodnoty byly stanoveny pomocí programu Autodesk Inventor 2015.



Obrázek 5.1 Výpočtové schéma otočného stojanu mezipánví.[20]

Celková hmotnosť jedného ramene m_{rc}

$$m_{rc} = m_{nr} + m_{zz} + m_{zr} + m_{mp} + m_t \quad (5.1)$$

$$m_{rc} = 8000 + 100 + 8188 + 40000 + 18500$$

$$m_{rc} = 74788 \text{ kg}$$

Jak bylo zmíněno, součástí otočného stojanu jsou dvě ramena pro manipulaci s mezinávnými, z tohoto důvodu jsou zde také dva otočné mechanismy (dvě ložiska). Na velkorozměrovém ložisku označeným č. I je usazeno první horní rameno, pohon je umístěn uvnitř konstrukce stojanu, ložisko je tedy opatřeno na své vnitřní oběžné dráze vnitřním ozubením a vnější dráha připevněna ke stabilní části stojanu.

Druhé dolní rameno pak spočívá na velkorozměrovém ložisku označeným č. II. V tomto případě je pohon umístěn vně konstrukci stojanu a ložisko je tedy opatřeno vnějším ozubením a vnitřní oběžná dráha je spojena se stojanem. Účinkem hmotnosti ramene pak na ložiska působí axiální síla.

Axiální síla působící na ložiska I a II

$$F_a = m_{rc} \cdot g \quad (5.2)$$

$$F_a = 74788 \cdot 9,81$$

$$F_a = 733670280 \text{ N}$$

$$F_a = 733,670 \text{ kN}$$

Mimo axiální síly působí na ložiska také klopné momenty, dané působícími hmotnostmi daných dílů a vzdáleností jejich působišť (těžišť) od osy otáčení stojanu.

Klopný moment působící na ložiska I a II

$$M_{kl} = g \cdot [m_{nr} \cdot x_4 + m_{zz} \cdot x_3 + m_{zr} \cdot x_2 + (m_{mp} + m_t) \cdot x_1] \quad (5.3)$$

$$M_{kl} = 9,81 \cdot [8000 \cdot 1,56 + 100 \cdot 2,4 + 8188 \cdot 2,815 + \\ + (40000 + 18500) \cdot 4,3]$$

$$M_{kl} = 2818601,548 \text{ Nm}$$

$$M_{kl} = 2818,602 \text{ kNm}$$

5.1 Volba velkorozměrových ložisek otočného stojanu

Axiální velkorozměrová ložiska obou otočných ramen byla zvolena podle katalogu firmy IMO dle působícího zatížení, které bylo navýšeno o aplikační faktory a statickou bezpečnost. Aplikační faktor zahrnuje do výpočtu vliv prostředí, ve kterém je ložisko provozováno. Hodnota tohoto součinitele byla zvolena vzhledem k těžkému provozu $f_a=1,75[-]$. Statická bezpečnost byla zvolena jako $s_o=1[-]$. Tyto navýšené hodnoty se označují jako ekvivalentní zatížení.

Ekvivalentní axiální síla působící na ložiska I a II

$$F_{ae} = F_{axl} \cdot f_a \cdot s_o \quad (\text{viz lit. (5)}) \quad (5.4)$$

$$F_{ae} = 733,670 \cdot 1,75 \cdot 1$$

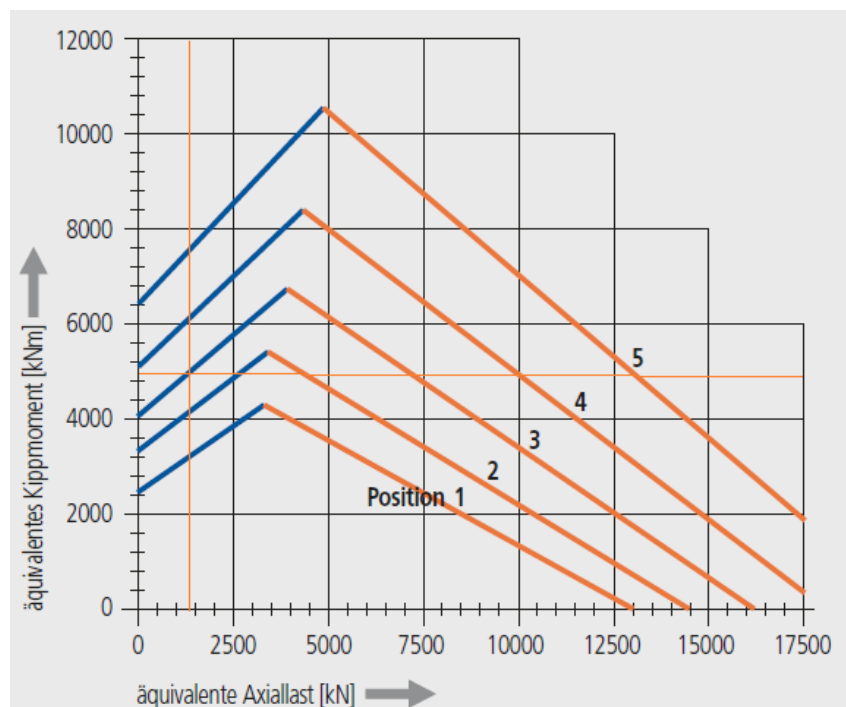
$$F_{ae} = 1283,923 \text{ kN}$$

Ekvivalentní klopný moment působící na ložiska I a II

$$M_{kle} = M_{kl} \cdot f_a \cdot s_o \quad (\text{viz lit. (5)}) \quad (5.5)$$

$$M_{kle} = 2818,602 \cdot 1,75 \cdot 1$$

$$M_{kle} = 4932,554 \text{ kNm}$$

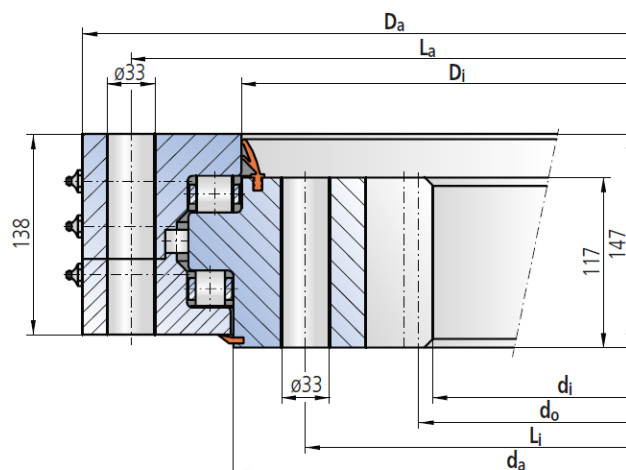


Obrázek 5.2 Zátěžový graf pro velkorozměrová ložiska IMO typové řady 325. [5]

Podle vypočítaného ekvivalentního zatížení byla podle grafu znázorněném na obrázku 5.2 zvolena příslušná velkorozměrová ložiska pro manipulaci s oběma rameny otočného stojanu. Obě ložiska jsou třířadá s válečkovými valivými tělísky typové řady 325.

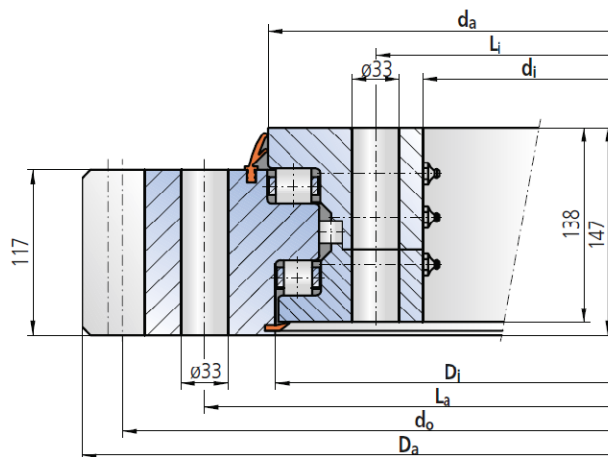
Modré křivky v zátěžovém grafu na obrázku 5.2 udávají meze únosnosti kotvicích šroubů. Křivky oranžové barvy pak reprezentují únosnost oběžných drah velkorozměrových axiálních ložisek. Do grafu byly nadále vyneseny vypočítané hodnoty ekvivalentního klopného momentu a ekvivalentní axiální síly působících na ložisko I a II. Průsečík vnesených hodnot zmíněných ekvivalentních zatížení se musí nacházet pod danou křivkou šroubů i oběžných drah. Ložiska vyhovují dle grafu křivce č. 3.

Ložisko č. I s vnitřním ozubením, na kterém spočívá horní rameno je označeno 32-25-2240/2-06870. Ložisko č. II s vnějším ozubením je označeno 31-25-2240/2-06820. Schématické zobrazení a rozměry zvolených velkorozměrových axiálních ložisek jsou uvedeny v tabulce na obrázku 5.3 a obrázku 5.4.



Zeichnungsnummer	Position	Abmessungen und Gewicht					Befestigungsbohrungen			Verzahnung und Zahnkräfte							Tragzahlen					
		Außendurchmesser	Innendurchmesser	Innendurchmesser	Außendurchmesser	Gewicht	Lochkreisdurchmesser	Lochkreisdurchmesser	Bohrungsanzahl je Lochkreis	Teilkreisdurchmesser	Modul	Zähnezahl	Profilverschiebung	zulässige Zahnkraft	maximal zulässige Zahnkraft		statisch			dynamisch		
		Da [mm]	d1 [mm]	d2 [mm]	d3 [mm]	G [kg]	La [mm]	Li [mm]	n [-]	d0 [mm]	m [mm]	z [-]	x2 [-]	fz nom [kN]	fz max [kN]		Co rad [kN]	Co ax T [kN]	Co ax H [kN]	C rad [kN]	C ax T [kN]	C ax H [kN]
32-25 1800/2-06850	1	1981	1520	1763	1774	1101	1915	1675	36	1536	16	96	-0.50	185	342		1424	13006	7660	751	2432	1787
32-25 2000/2-06860	2	2181	1728	1963	1974	1202	2115	1875	44	1744	16	109	-0.50	185	342		1577	14451	8508	793	2578	1890
32-25 2240/2-06870	3	2421	1944	2203	2214	1406	2355	2115	48	1962	18	109	-0.50	217	394		1763	16185	9526	832	2734	2008
32-25 2500/2-06880	4	2681	2214	2463	2474	1545	2615	2375	54	2232	18	124	-0.50	217	394		1963	18064	10628	889	2894	2126
32-25 2800/2-06890	5	2981	2500	2763	2774	1767	2915	2675	60	2520	20	126	-0.50	248	449		2194	20232	11901	943	3077	2255

Obrázek 5.3 Schéma a rozměry velkorozměrového ložiska č. I typové řady 325. [5]



Zählungsnummer	Position	Abmessungen und Gewicht					Befestigungsbohrungen			Verzahnung und Zahnkräfte						Tragzahlen						
		Außendurchmesser		Innendurchmesser		Gewicht	Lochkreisdurchmesser		Bohrungsanzahl je Lochkreis	Teilkreisdurchmesser	Modul	Zähnezahl	Profilverschiebung	zulässige Zahnkraft	maximal zulässige Zahnkraft		statisch			dynamisch		
		D _a [mm]	d _I [mm]	D _I [mm]	d _a [mm]		G [kg]	L _a [mm]									L _I [mm]	n [-]	d _o [mm]	m [mm]	z ₂ [-]	x ₂ [-]
31-25 1800/2-06800	1	2076.8	1619	1826	1836	1126	1925	1685	36	2032	16	127	+0.50	172	306	1348	13006	7609	728	2432	1784	
31-25 2000/2-06810	2	2268.8	1819	2026	2036	1216	2125	1885	44	2224	16	139	+0.50	172	306	1502	14451	8457	772	2578	1881	
31-25 2240/2-06820	3	2516.4	2059	2266	2276	1378	2366	2125	48	2466	18	137	+0.50	202	358	1687	16185	9475	821	2734	1999	
31-25 2500/2-06830	4	2786.4	2319	2526	2536	1567	2625	2385	54	2736	18	152	+0.50	202	358	1887	18064	10577	870	2894	2123	
31-25 2800/2-06840	5	3096.0	2619	2826	2836	1785	2925	2685	60	3040	20	152	+0.50	232	407	2118	20232	11850	926	3077	2252	

Obrázek 5.4 Schéma a rozměry velkorozměrového ložiska č. II typové řady 325. [5]

5.2 Návrh a volba pohonu ramen otočného stojanu

Působící síly vzniklé hmotností jednotlivých komponentů stojanu dle výpočtového schématu na obr. 5.1 vyvozují reakční síly působící na valivá tělíska ložisek I a II. Podle konstrukčního provedení stojanu se hmotnosti ani vzájemná poloha ramen vzájemně neovlivňují. Výpočet dimenzování pohonu byl reprezentativně proveden pro dolní rameno a tedy ložisko č. II, tyto hodnoty zatížení však platí také pro rameno č. I. Reakční síly vycházejí z momentových rovnic:

Suma momentů k bodu A ložiska II:

$$\sum M_{aII} = 0 :$$

$$m_{nr} \cdot g \cdot \left(x_4 - \frac{d_a}{2}\right) + m_{zz} \cdot g \cdot \left(x_3 - \frac{d_a}{2}\right) + m_{zr} \cdot g \cdot \left(x_2 - \frac{d_a}{2}\right) + \\ + (m_{mp} + m_t) \cdot g \cdot \left(x_1 - \frac{d_a}{2}\right) - R_{bII} \cdot d_a = 0$$

Suma momentů k bodu B ložiska II:

$$\sum M_{bII} = 0 :$$

$$m_{nr} \cdot g \cdot \left(x_4 + \frac{d_a}{2}\right) + m_{zz} \cdot g \cdot \left(x_3 + \frac{d_a}{2}\right) + m_{zr} \cdot g \cdot \left(x_2 + \frac{d_a}{2}\right) + \\ + (m_{mp} + m_t) \cdot g \cdot \left(x_1 + \frac{d_a}{2}\right) - R_{aII} \cdot d_a = 0$$

Reakce R_{bII}

$$R_{bII} = \frac{g}{d_a} \cdot \left[m_{nr} \cdot \left(x_4 - \frac{d_a}{2}\right) + m_{zz} \cdot \left(x_3 - \frac{d_a}{2}\right) + m_{zr} \cdot \left(x_2 - \frac{d_a}{2}\right) + \right. \quad (5.6) \\ \left. + (m_{mp} + m_t) \cdot \left(x_1 - \frac{d_a}{2}\right) \right]$$

$$R_{bII} = \frac{9,81}{2,276} \cdot \left[8000 \cdot \left(1,56 - \frac{2,276}{2}\right) + 100 \cdot \left(2,4 - \frac{2,276}{2}\right) + \right. \\ \left. + 8188 \cdot \left(2,815 - \frac{2,276}{2}\right) + (40000 + 18500) \cdot \left(4,3 - \frac{2,276}{2}\right) \right]$$

$$R_{bII} = 871566,243N$$

Reakce R_{aII}

$$R_{aII} = \frac{g}{d_a} \cdot \left[m_{nr} \cdot \left(x_4 + \frac{d_a}{2}\right) + m_{zz} \cdot \left(x_3 + \frac{d_a}{2}\right) + m_{zr} \cdot \left(x_2 + \frac{d_a}{2}\right) + \right. \quad (5.7) \\ \left. + (m_{mp} + m_t) \cdot \left(x_1 + \frac{d_a}{2}\right) \right]$$

$$R_{aII} = \frac{9,81}{2,276} \cdot \left[8000 \cdot \left(1,56 + \frac{2,276}{2}\right) + 100 \cdot \left(2,4 + \frac{2,276}{2}\right) + \right. \\ \left. + 8188 \cdot \left(2,815 + \frac{2,276}{2}\right) + (40000 + 18500) \cdot \left(4,3 + \frac{2,276}{2}\right) \right]$$

$$R_{aII} = 1605765,815N$$

5.2.1 Střední hodnota reakcí působících na ložisko

K určení statického odporu, jenž musí pohon překonávat k rozpořhybování ramene, byla vypočítána střední hodnota působících reakcí.

$$R_{stII} = \frac{R_{aII} + R_{bII}}{2} \quad (5.8)$$

$$R_{stII} = \frac{871566,243 + 1605765,815}{2}$$

$$R_{stII} = 1238666,029 N$$

5.2.2 Moment pasivních odporů působících na ložisko

Reakční síly vyvolávají moment pasivních odporů, který působí na oběžných drahách ložiska. Jelikož zvolené ložisko má dvě řady axiálních valivých tělísek, působí toto zatížení na čtyřech třecích plochách. Součinitel valivého odporu má hodnotu $\mu=0,01$ [-], která byla zvolena dle literatury (2).

$$M_{tII} = 4 \cdot \mu \cdot R_{stII} \cdot \frac{d_a}{2} \quad (5.9)$$

$$M_{tII} = 4 \cdot 0,01 \cdot 1238666,029 \cdot \frac{2,276}{2}$$

$$M_{tII} = 56384,078 Nm$$

5.2.3 Potřebné otáčky pastorku

Z daného převodu ozubeného věnce (dle vztahu 5.10) daného počtem zubů oběžné dráhy ložiska, dle tabulky na obrázku 5. 4 a pastorku, lze vypočítat výstupní otáčky, aby se rameno otáčelo danou požadovanou rychlostí.

Počet zubů pastorku $z_1=17$ [ks], tento počet byl zvolen podle doporučení výrobce ložiska (dle lit. 5). Z rovnice 5.11 pak vyplývá, jaké jsou potřebné výstupní otáčky z převodovky pohonu.

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_p}{n_1} \quad (5.10)$$

$$n_p = \frac{z_2 \cdot n_1}{z_1} \quad (5.11)$$

$$n_p = \frac{137 \cdot 1}{17}$$

$$n_p = 8,059 \text{ min}^{-1}$$

5.2.4 Výkon potřebný k překonání pasivních odporů ložiska

Pohon ložiska musí během ustáleného chodu překonávat již vypočítaný moment pasivních odporů za ustálených otáček dle vztahu 5.12. Celkový převod pro otáčení ramene danou rychlostí se skládá ze dvou dílčích převodů. Prvním převodem je již zmíněný převod ozubení a druhým je převod mezi pastorkem a motorem. Taktéž i celková účinnost se skládá ze dvou dílčích účinností a to z účinnosti ozubení, jejíž hodnota byla zvolena $\eta_o=0,99[-]$ a účinností převodovky, která byla zvolena $\eta_p=0,9[-]$.

$$P_{II} = M_{tII} \cdot \omega_r = \frac{M_{tII} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_1}{60} \quad (5.12)$$

$$P_{II} = 56384,078 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1}{60}$$

$$P_{II} = 5901,534 \text{ W}$$

Celková účinnost převodu η_c

$$\eta_c = \eta_p \cdot \eta_o \quad (5.13)$$

$$\eta_c = 0,9 \cdot 0,99$$

$$\eta_c = 0,891$$

Potřebný příkon motoru otoče II P_{pII}

$$P_{pII} = \frac{P_{II}}{\eta_c} \quad (5.14)$$

$$P_{pII} = \frac{5901,534}{0,891}$$

$$P_{pII} = 6623,495 \text{ W}$$

5.2.5 Volba pohonu ložiska

Podle výše vypočítaných parametrů byl zvolen k pohánění otáčecího mechanismu dolního ramene převodový elektromotor firmy SEW s typovým označením RF147DRS160M6 se standartní účinností. Pohon se skládá z čelní převodovky RF147, přírubového provedení a šesti pólového asynchronního elektromotoru DRS160M6. Součástí motoru je také brzda. Parametry toho pohonu jsou vedeny v tabulce 5.2.

Vzhledem k odlišnému počtu zubů vnitřní oběžné dráhy velkorozměrového ložiska č. I, je volen stejný pohon pro toto ložisko, avšak volím ovládání otáček motoru pomocí frekvenčního měniče.

Tabulka 5.2 Parametry převodového elektromotoru firmy SEW typové řady RF147DES160M6.

Jmenovitý výkon motoru	$P_m=7,5$ [kW]
Jmenovité otáčky motoru	$n_m=955$ [min^{-1}]
Jmenovitý moment motoru	$M_m=8990$ [$\text{N}\cdot\text{m}$]
Poměr záběrového ku jmenovitému momentu	$M_z/M_m=2,2$ [-]
Záběrový moment motoru	$M_{zab}=19778$ [$\text{N}\cdot\text{m}$]
Moment setrvačnosti motoru	$J_m=630\cdot 10^{-4}$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]
Převodový poměr převodovky	$i_p=119,86$ [-]
Výstupní otáčky z převodovky	$n_{pr}=8$ [min^{-1}]
Výstupní krouticí moment z převodovky	$M_p=1077541,4$ [$\text{N}\cdot\text{m}$]
Moment setrvačnosti převodovky	$J_p=698\cdot 10^{-4}$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]
Moment setrvačnosti pastorku	$J_{ps}=4,1\cdot 10^{-2}$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

5.3 Kontrola rozběhu pohonů

Ke stanovení doby rozběhu a ověření správného navrženého elektrického pohonu je potřebné znát odporové momenty, které při tomto stavu působí proti rozběhovému momentu motoru. Vztah mezi těmito momenty popisuje rovnice 5.15.

$$M_{zab} = (M_t + M_{ir1}) \cdot \frac{1}{i_o \cdot i_p \cdot \eta_c} + M_{ir2} \quad (\text{viz lit. (I)}) \quad (5.15)$$

5.3.1 Moment setrvačných hmot rotujících kolem osy stojanu

Při rozběhu pohonu mezipánvových ramen je nutné počítat s jejich hmotami, které je nutné urychlit. Momenty setrvačnosti jednotlivých komponent byly zjištěny pomocí programu Autodesk Inventor 2015 a jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5. 3.

Tabulka 5.3 Hodnoty momentů setrvačnosti částí rámu.

Část rámu	Moment setrvačnosti
<i>Nosný rám</i>	$J_{nrI} = 1,246 \cdot 10^4 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$
<i>Zdvihacího rám</i>	$J_{zrI} = 8,823 \cdot 10^3 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$
<i>Plná mezipánve</i>	$J_{mpI} = 59,773 \cdot 10^3 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$

Tyto uvedené hodnoty se však vztahují k rotaci jednotlivých částí kolem osy otáčení, která prochází těžištěm dílu. Proto je potřeba přepočítat tyto hodnoty vzhledem k ose otáčení stojanu pomocí Steinerovy věty dle vztahů 7.16 až 7.18.

Moment setrvačnosti nosného rámu

$$J_{nr} = J_{nrI} + m_{nr} \cdot x_4^2 \quad (5.16)$$

$$J_{nr} = 1,246 \cdot 10^4 + 8000 \cdot 1,56^2$$

$$J_{nr} = 2,494 \cdot 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti zdvihacího rámu

$$J_{zr} = J_{zrI} + (m_{zr} + m_{zz}) \cdot x_5^2 \quad (5.17)$$

$$J_{zr} = 8,823 \cdot 10^3 + (8188 + 100) \cdot 2,608^2$$

$$J_{zr} = 6,52 \cdot 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti zdvihacího mezipánve

$$J_{mp} = J_{mpI} + (m_{mp} + m_t) \cdot x_4^2 \quad (5.18)$$

$$J_{mp} = 59,773 \cdot 10^3 + (58500) \cdot 4,3^2$$

$$J_{mp} = 114,144 \cdot 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti hmot ramene, které rotují kolem osy stojanu, lze určit podle vztahu 5.19. Jedná se o urychlení těchto hmot rovnoměrně zrychleným rotačním pohybem na pohyb rovnoměrný.

$$M_{ir1} = (J_{nr} + J_{zr} + J_{mp}) \cdot \varepsilon \quad (\text{viz lit. (1)}) \quad (5.19)$$

$$M_{ir1} = (J_{nr} + J_{zr} + J_{mp}) \cdot \frac{\pi \cdot n_m}{30 \cdot i_o \cdot i_p \cdot t_r} \quad (5.20)$$

$$M_{ir1} = (2,494 + 6,52 + 114,144) \cdot 10^4 \cdot \frac{3,14 \cdot 955}{30 \cdot 8,059 \cdot 119,86 \cdot t_r} \quad (5.21)$$

$$M_{ir1} = 12,744 \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{t_r} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

5.3.2 Moment setrvačných hmot rotujících kolem osy motoru

Mimo setrvačnosti hmot ramen musí motor také překonat setrvačnost vlastních rotačních dílů, ozubených kol a hřídelů převodovky a pastorku. Hodnota momentu setrvačnosti pastorku byla určena pomocí programu Autodesk Inventor 2015.

$$M_{ir2} = \left(J_m + J_p + \frac{J_{pas}}{\eta_p \cdot i_p} \right) \cdot \varepsilon \quad (\text{viz lit. (1)}) \quad (5.22)$$

$$M_{ir2} = \left(J_m + J_p + \frac{J_{pas}}{\eta_p \cdot i_p} \right) \cdot \frac{\pi \cdot n_m}{30 \cdot t_r} \quad (5.23)$$

$$M_{ir2} = \left(630 + 698 + \frac{0,041}{0,9 \cdot 119,86} \right) \cdot 10^{-4} \cdot \frac{3,14 \cdot 955}{30 \cdot t_r} \quad (5.24)$$

$$M_{ir2} = 13,277 \cdot \frac{1}{t_r} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

5.3.3 Doba rozběhu pohonu ložiska

Dosazením rovnic 7.21 a 7.24 pro momenty setrvačnosti rotujících hmot do rovnice 7.15 vyjadřující vztah mezi těmito momenty a záběrovým momentem motorem, vznikne rovnice 7.25, ze které lze následně vyjádřit vztah pro dobu rozběhu ramene na požadované otáčky.

$$M_{zab} = \left(M_t + 12,744 \cdot 10^4 \frac{1}{t_r} \right) \cdot \frac{1}{i_o \cdot i_p \cdot \eta_c} + 13,277 \cdot \frac{1}{t_r} \quad (5.25)$$

Výsledná doba rozběhu ramene do rovnoměrného stavu otáčení je vyjádřena rovnicí 5.26.

$$t_r = \frac{12,744 \cdot 10^4 + (i_o \cdot i_p \cdot \eta_c \cdot 13,277)}{(i_o \cdot i_p \cdot \eta_c \cdot M_{zab}) - M_t} \quad (5.26)$$

$$t_r = \frac{12,744 \cdot 10^4 + (8,059 \cdot 119,86 \cdot 0,891 \cdot 13,277)}{(8,059 \cdot 119,86 \cdot 0,891 \cdot 19778) - 56384,078}$$

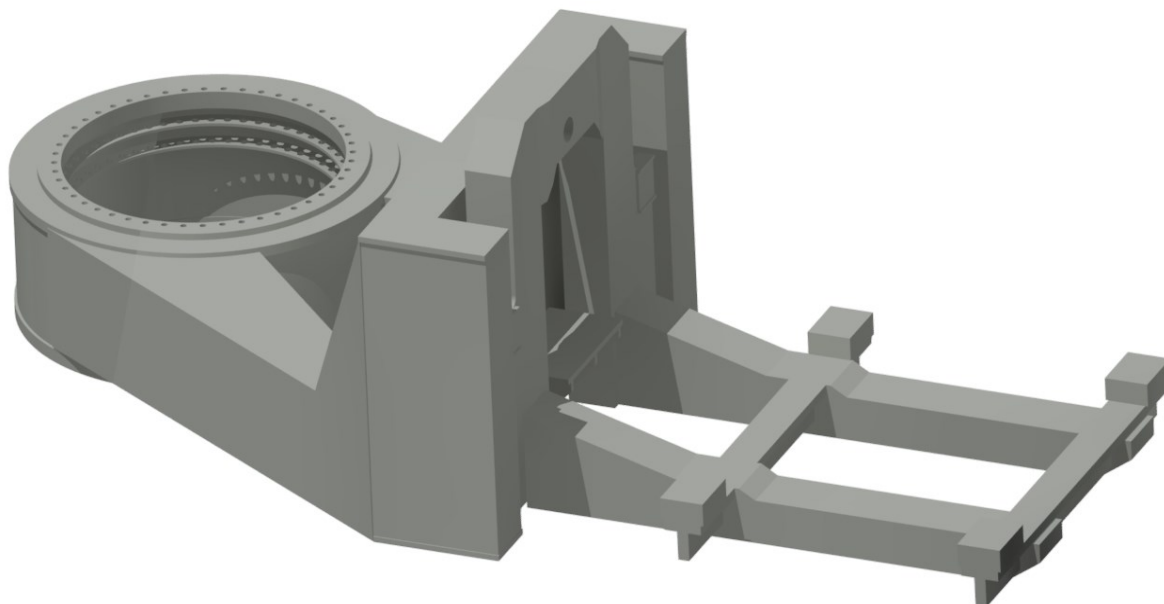
$$t_r = 0,674 \text{ s}$$

6. Pevnostní kontrola dolního ramene mezipánvového stojanu

Pevnostní kontrola ramene mezipánvového otočného stojanu byla metodou konečných prvků provedena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2013.

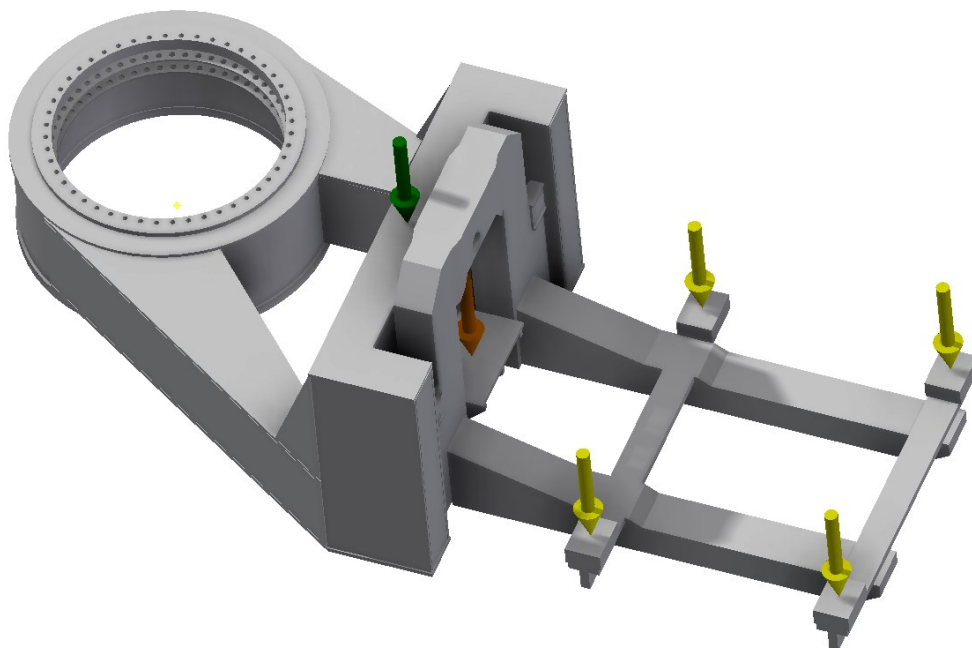
Výpočtový model byl dle obrázku 6.1 pro účely kontroly zjednodušen o spojovací součásti, vodící lišty a součásti zdvihacího mechanismu, které nejsou důležité pro daný výpočet působících napětí a posunutí působících v konstrukci. Konstrukce nosného a zdvihacího ramene jsou tvořeny převážně skříňovými svařovanými nosníky a k zajištění tuhosti jsou uvnitř vytvořeny výztuhy.

Ramena jsou vyrobena z oceli 11 523 o mezi kluzu $R_e=333$ MPa, která se vyznačuje zaručenou svařitelností.



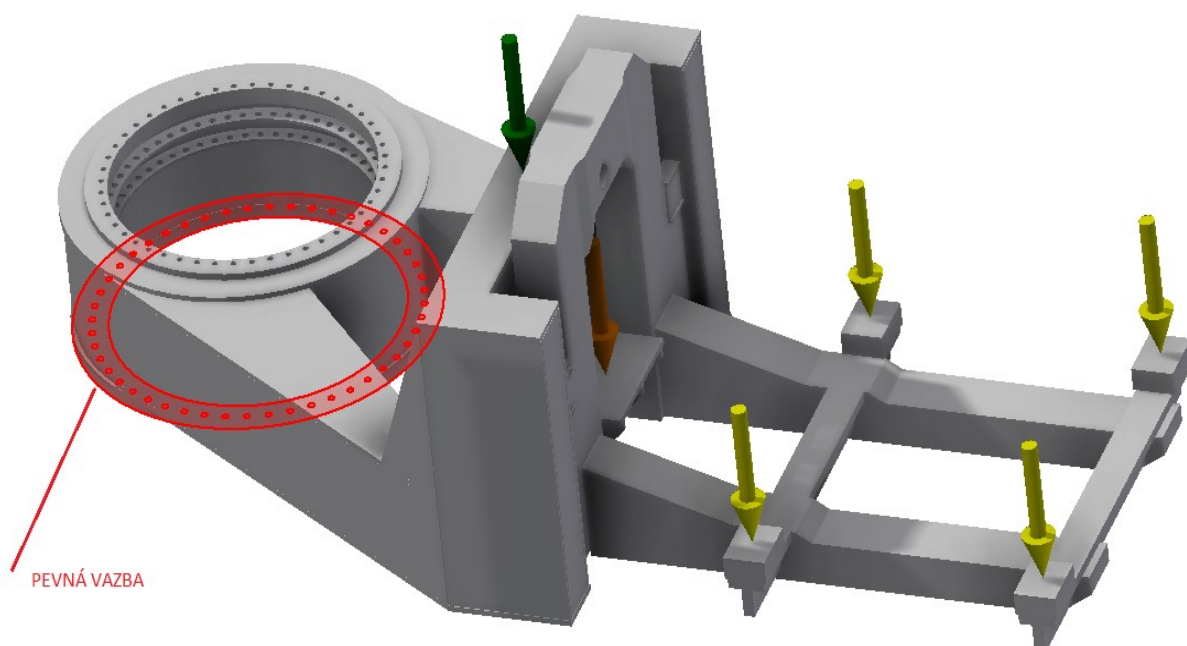
Obrázek 6.1 Zjednodušený výpočtový model ramene pro pevnostní kontrolu. [19]

Do pevnostního výpočtu vstupují vlastní hmotnosti obou rámů ramene, zdvihacího mechanismu a hmotnost mezipánve společně s tavbou. Působení těchto sil je graficky naznačeno na obrázku 6.2, kde zelená šipka znázorňuje působení tíhy celkového rámu (nosný a zdvihací rám společně), oranžová šipka označuje působení tíhy zdvihacího mechanismu, který je ukotven k desce na nosném rámu a pístnice hydraulického válce je učnicí spojena rámem zdvihacím pomocí čepu. Zatížení od plné mezipánve je rozloženo na čtyři nosné plochy, na kterých dosedá vážný rám mezipánve na zdvihací rám. Tyto síly jsou označeny žlutými šipkami.

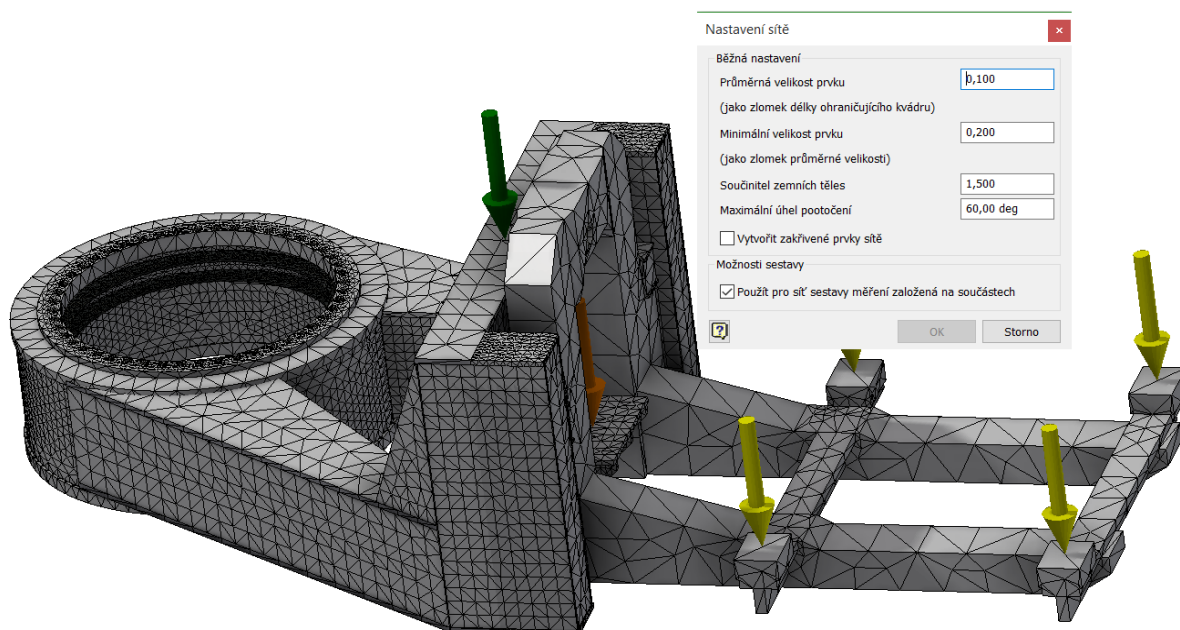


Obrázek 6.2 Znázornění působení silových účinků na model. [19]

Jako okrajová podmínka byla zvolena spodní upevňovací plocha nosného rámu, ke které je připevňována horní oběžná dráha velkorozměrového ložiska s vnějším ozubením. Tato okrajová podmínka je definována jako pevná vazba (obrázek 6.3), která znemožňuje posunutí i otočení ve všech směrech souřadného systému. Dotyky konstrukce jsou všude nastaveny jako vázané a vystihují tedy svarové spojení.



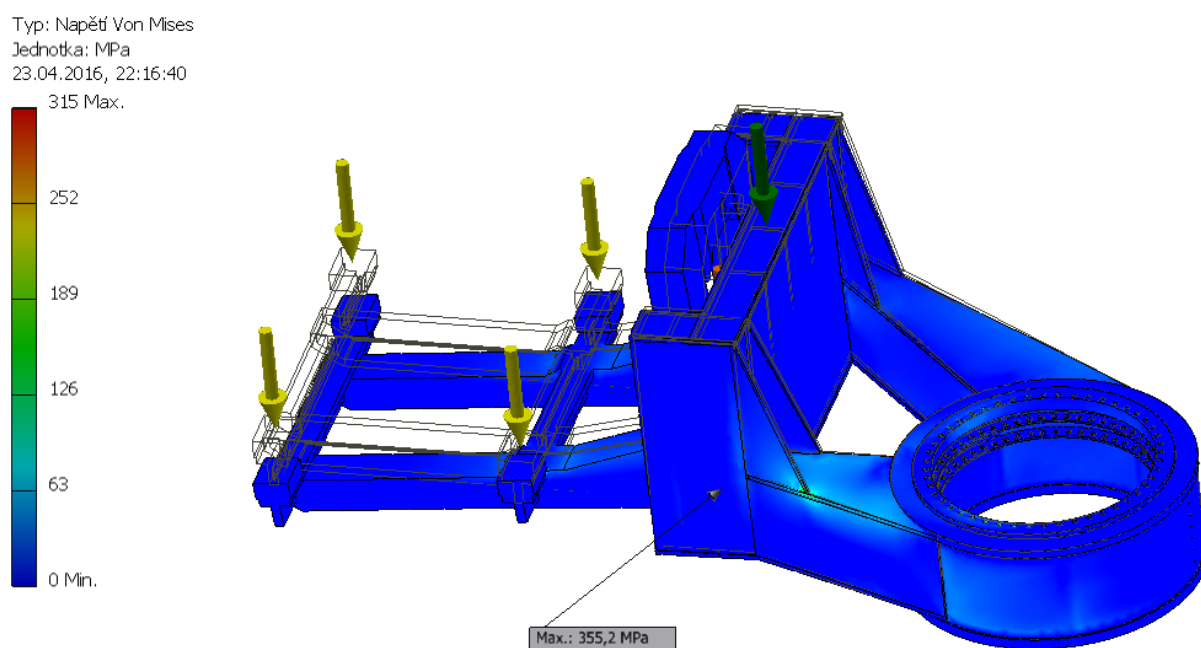
Obrázek 6.3 Znázornění umístění okrajových podmínek na model. [19]



Obrázek 6.4 Znáznornění vytvořené sítě na modelu. [19]

Poslední fází přecházející analýze, je vygenerování sítě, která rozdělí model na příslušný počet prvků. Vytvořená síť je vyobrazena na obrázku 6.3, která je složena z tříúhlových trojúhelníkových prvků.

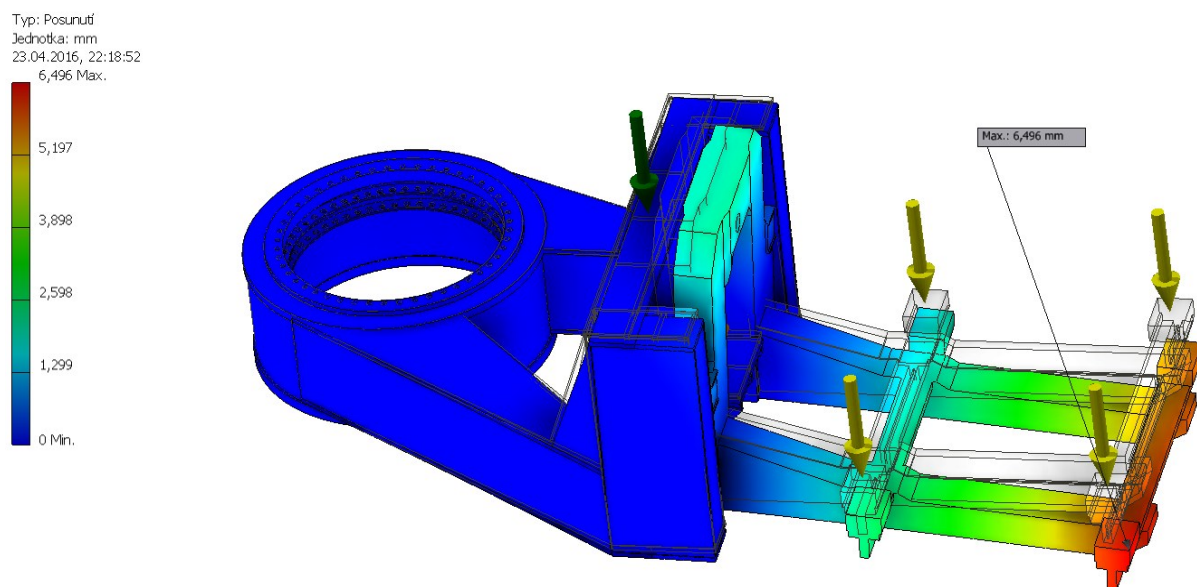
Výstupními výsledky statické pevnostní kontroly metodou konečných prvků je redukované napětí působící na konstrukci ramene při zátěži a posunutí, která jsou tímto způsobena.



Obrázek 6.5 Výsledné redukované napětí dle metody Von Misses. [19]

Na obrázku 6.5 je znázorněno působení redukovaných napětí vypočítaných dle metody von Misses. Nejvyšší hodnota působícího napětí vychází v dolní části konstrukce mezi zdvihacím rámem a nosným rámem, toto napětí má velikost 315 MPa.

Průběh maximálního posunutí je následně vyobrazen na obrázku 6.6. Nejvíce se podle kontroly deformuje zdvihací rám, na němž je přímo posazena mezipánev. Maximální posunutí (deformace) má hodnotu 6,496 mm, z provozních podmínek lze říci, že je tato hodnota přijatelná.



Obrázek 6.6 Výsledné hodnoty maximálního posunutí.[19]

7. Závěr

Neustálým tlakem na snižování nákladů na výrobu oceli, tlakem na snižování energetické náročnosti, jsou technici a konstruktéři nuceni hledat nové, efektivnější metody a cesty ke splnění tohoto cíle.

Celý princip plynulého odlévání oceli a jiných kovů je neustále vylepšován a zdokonalován. Z těchto důvodů navrhuji zdokonalit systém otáčení a pohonu mezipánve při bramovém způsobu plynulého odlévání oceli. Původní tzv. cévový převod pro otáčení mezipánve navrhuji nahradit otočovým ložiskem, které má ve své konstrukci zakomponovaný ozubený věnec – otočové ložisko s vnějším nebo vnitřním ozubením. Zjednoduší se tím montáž i celá konstrukce mezipánvového stojanu, zpřesní se chod ložiska (méně rázů, delší životnost ozubeného věnce). Provozování kontilití časem ukázalo potřebu havarijního pohonu otáčení mezipánvového stojanu.

Havarijní způsob otáčení zajistí otáčení mezipánvového stojanu při výpadku el. proudu v případě havárie – zalití přívodu apod. Na všech moderních zařízeních plynulého odlévání oceli je vždy řešen havarijní způsob zajištění otáčení. Mezi elektromotor pohonu otáčení a svislou planetovou převodovku je vložena elektromagnetická brzda a křížová převodovka s převodovým poměrem 1:1. Na opačné straně než je elektromotor, bude umístěn vzduchový motor, který bude pohánět stlačený dusík. V moderních ocelárnách se ocel vyrábí v kyslíkových konvertorech. Při výrobě kyslíku ze vzduchu vzniká značné množství dusíku. Dusík se používá na různých místech technologického procesu výroby oceli. Proto bývá na ocelárnách běžně rozvod dusíku zajištěn. Pro rovnoměrnou dodávku tlakového dusíku bude vytvořena tlaková dusíková stanice. Mezi křížovou a planetovou převodovkou je umístěna čelistová brzda, která zajišťuje stabilitu polohy ramene mezipánve. Tato brzda má kromě eldra (elhy) elektropohonu namontován ještě pneumatický válec pro uvolnění brzd v případě havarijního otáčení ramene stlačeným dusíkem. Ke křížové převodovce je možno na volný vývod namontovat inkrementální čítač otáček pro sledování polohy otáčení ramene. Celý proces plynulého odlévání vyžaduje synchronizaci a návaznost všech komponentů. Není myslitelný výpadek kteréhokoli z jejích členů. Po ukončení zkoušovacího procesu v konvertoru je lící pánve s tekutou ocelí přemísťována na jednotlivá pracoviště mimopecního zpracování oceli. Pro kontilití je důležitá teplota roztaveného kovu. Proto je často ocel dohřívána v pánvových pecích.

V textové části této diplomové práce byla zpracována problematika kontinuálního odlévání oceli spolu s popisem tohoto procesu. Následně také manipulační a transportní

prostředky pracující v ocelárně během procesu zpracování oceli od jeřábů po otočné stojany licích pánví a mezipánví spolu s jejich automatizací provozu.

Výpočtová část této práce se nadále zabývá výpočtem otočného mechanismu otočného mezipánvového stojanu, který se skládá ze statického nosného rámu a dvou pohyblivých ramen. Statický rám slouží jako podpora zmíněných ramen a nese také upevňovací konzoly pohonů obou otáčecích mechanismů. Pomocí šroubů jsou k němu tako připojeny statické oběžné dráhy velkorozměrových ložisek.

Ramena, která otáčí mezipánvemi do provozních poloh, se skládají z nosného rámu, který je upevněn šrouby k pohyblivým oběžným drahám velkorozměrových ložisek, ty jsou zároveň opatřeny ozubenými věnci a zdvihacího rámu, na kterém spočívá mezipánev. Spojení obou rámu zajišťuje zdvihací mechanismus, který umožňuje zdvih zdvihacího rámu o 600mm kvůli usazení mezipánve v pracovní poloze např. nad krystalizátorem.

Otáčecí mechanismus horního ramene je opatřen vnitřním ozubením, tudíž pohon je umístěn uvnitř stojanu. Naopak spodní rameno je otáčeno ozubením vnějším. Obě ramena jsou na sobě vzájemně nezávislá a výkon elektrického asynchronního motoru mechanismu byl výpočtem stanoven na 7,5 kW s dobou rozběhu 0,674 s na rychlost otáčení 1 otáčka za minutu.

Pevnostní kontrola ramene byla provedena v programu Autodesk Inventor 2013 a byly jí stanoveny hodnoty působících redukovaných napětí, přičemž maximální hodnota vyšla 315MPa. Toto napětí vyhovuje hodnotě meze kluzu materiálu rámu ramene, jenž má hodnotu 333MPa. Maximální hodnota deformace posunu vychází na kraji zdvihacího rámu a činí 6,496mm.

Součástí práce je také výkresová dokumentace obsahující celkový sestavný výkres otočného stojanu mezipánví, výkres svařence zdvihacího rámu a výrobní výkres pastorku pohonu otáčecího mechanismu.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové Ing. Janu Nečasovi, Ph. D., panu Ing. Wieslawu Brannému z TŽ Třinec a.s. a panu Antonínu Damkovi z Vítkovice Steel a.s. za poskytnutí užitečných rad, připomínek, nejrůznějších podkladů a materiálů, k vypracování diplomové práce. Také děkuji mé rodině, za trpělivost a podporu během mého studia.

Děkuji Centru ENET, VŠB-TU Ostrava za možnost využití jeho výzkumné infrastruktury.

Seznam použitých zdrojů

Seznam použité literatury

- [1] PAVLIŠKA, Jiří a Leopold HRABOVSKÝ. *Dopravní a manipulační zařízení IV*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004, 128 s. ISBN 80-248-0537-5.
- [2] DRAŽAN, František a Ladislav KRUPKA. *Jeřáby*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968, 661 s.
- [3] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonů strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 128 s. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [4] VÍTKOVICE STEEL a. s. *Návod k provozování a údržbě otočného mezipánvového stojanu*. 1. vyd., 1994.
- [5] Goimo.com. [online]. 2016 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.goimo.com/uploads/tx_ffimodlCenter/IMO_DV313D_DE.pdf

Seznam použitých obrázků

- [6] Plynulé odlévání. *Duisburg am Rhein* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://duisburgamrhein.wordpress.com/2014/07/22/thyssenkrupp-steel-europe-investiert-90-millionen-euro-in-die-erneuerung-der-stranggiesanlage-in-duisburg-beeckerwerth-moderne-kuhltechnologie-verbessert-brammen-qualitat/>
- [7] Plynulé odlévání oceli - základní principy. *Shelton Iron Steel Co* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.thepotteries.org/shelton/concast.htm>
- [8] Lící pánev. *Dreamstime* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.dreamstime.com/stock-illustration-metallurgical-ladle-furnace-isolated-white-background-image52046532>
- [9] Mezipánev. *AllBiz* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://volgodonsk.all.biz/ko/sourcetextcannotbetranslated-g2886815#.VzLx91WLRD8>
- [10] Krystalizátor. *SKOCZ* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.skocz.cz/aktuality/ukazky-nasi-prace>
- [11] Tažná a rovnací stolice. *Omclworld* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://omclworld.com/site/plants.php>
- [12] Dělicí pálicí stroj. *Alpine metal tech* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.alpinemetaltech.com/produkt-details/items/tc-strand-brennschneidmaschine.html>

- [13] Mostový jeřáb. *HENG SHAN* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.hycrane.cn/Cranes-applcated-in-steel-factory.html>
- [14] Lící traverza s lamelovými háky. *KPC* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.kpc.cz/cs/produkty/komponenty-zdvihu-jeřabu/lamelove-haky.aspx>
- [15] Mezipánvová traverza. *B&D Machine Works* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://bdmach.com/fabrication/>
- [16] Pánvový vůz. *KLL* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.kll.cz/pages/vuz450otoci.htm>
- [17] Otočný lící pánvový stojan. *Harald Finster* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.hfinster.de/StahlArt2/archive-Trinec-Steelworks-img_2465-2008-a-de.html
- [18] Velkorozměrové axiální ložisko s vnějším ozubením. *PSL* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.pslas.com/ru/produkty/otoce.php>
- [19] Obrázek pořízen autorem pomocí Autodesk Inventor Professional 2013.
- [20] Obrázek pořízen autorem pomocí Autodesk AutoCAD 2013.
- [21] Fotografie pořízena autorem práce.

Seznam výkresové dokumentace

Otočný stojan	-	RU_00
Zvedací rám	-	RU_02_00
Pastorek	-	RU_03_01